



TUGAS AKHIR- TL 141584

**PENGARUH PENCAMPURAN KONSENTRASI
 H_2CrO_4 DAN GELATIN DALAM ELEKTROLIT GEL
TERHADAP KETEBALAN DAN KEKUATAN LEKAT
LAPISAN KROM PADA BAJA DENGAN METODE
ELEKTROPLATING**

KIKIN HERMANTO

NRP 2711 100 014

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh November

Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT- TL 141584

**EFFECTS OF MIXING OF H_2CrO_4 AND GELATIN
CONCENTRATION IN ELECTROLYTE GEL ON
CHROMIUM COATING THICKNESS AND
ADHESION STRENGTH ON STEEL WITH
ELECTROPLATING METHOD**

KIKIN HERMANTO

NRP 2711 100 014

Advisor

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Department Of Material And Metallurgical Engineering

Faculty Of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH PENCAMPURAN KONSENTRASI
 H_2CrO_4 DAN GELATIN DALAM ELEKTROLIT GEL
TERHADAP KETEBALAN DAN KEKUATAN LEKAT
LAPISAN KROM PADA BAJA DENGAN METODE
ELEKTROPLATING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Korosi Dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Kikin Hermanto
NRP 2711 100 014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA..... Pembimbing



PENGARUH PENCAMPURAN KONSENTRASI H_2CrO_4 DAN GELATIN DALAM ELEKTROLIT GEL TERHADAP KETEBALAN DAN KEKUATAN LEKAT LAPISAN KROM PADA BAJA DENGAN METODE ELEKTROPLATING

Nama Mahasiswa : Kikin Hermanto
NRP : 2711 100 014
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstrak

Elektroplating pada dunia industri banyak dimanfaatkan untuk melakukan pelapisan terhadap benda kerja dengan cara pencelupan benda kerja dalam larutan elektrolit. Cara ini dirasa kurang efektif bila digunakan pada benda kerja yang telah terpasang pada rangkaian kerjanya, sehingga penelitian tentang elektrolit gel ini dilakukan.

Penelitian ini menggunakan metode alternatif elektroplating, yaitu elektrolit gel. Elektrolit gel merupakan metode elektroplating tanpa perlu melakukan pencelupan, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi H_2CrO_4 (250 g/l; 300 g/l; 350 g/l) dan gelatin sebagai gelling agent (40,5 g/l; 81 g/l; 121,5 g/l) dalam elektrolit gel H_2CrO_4 terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan krom hasil elektroplating pada baja.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel akan meningkatkan ketebalan deposit krom sedangkan penambahan konsentrasi gelatin akan menurunkan ketebalan deposit krom. Penambahan konsentrasi asam kromat akan menurunkan nilai kelekatan deposit krom pada spesimen, sedangkan penambahan konsentrasi gelatin akan mencapai nilai kelekatan maksimalnya pada konsentrasi 81 g/l dan penambahan konsentrasi gelatin melebihi

konsentrasi tersebut akan menyebabkan penurunan nilai kelekatan.

Kata kunci : Elektrolit Gel, Elektroplating, Gelatin, H_2CrO_4 , Konsentrasi

EFFECTS OF MIXING OF H_2CrO_4 AND GELATIN CONCENTRATION IN ELECTROLYTE GEL ON CHROMIUM COATING THICKNESS AND ADHESION STRENGTH ON STEEL WITH ELECTROPLATING METHOD

Name : Kikin Hermanto
NRP : 2711 100 014
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Abstract

Electroplating in industrial world is being used to perform the coating of the work piece by means of immersion of the work piece in the electrolyte solution. This method is less effective when used on a work piece that has been mounted on a series of works, so the research about gel electrolyte is done.

This study uses an alternative method of electroplating using gel electrolyte without dyeing methods, this study aims to determine the effects of concentration of H_2CrO_4 (250 g/l; 300 g/l; 350 g/l) and gelatin as a gelling agent (40,5 g/l; 81 g/l; 121,5 g/l) in the gel electrolyte H_2CrO_4 to the thickness and adhesivity of the results of chrome electroplating coating on steel.

The results showed that the greater the concentration of chromic acid in the gel electrolyte will increase the thickness of chrome deposits, while the addition of gelatin concentration will decrease the thickness of chrome deposits. The addition of chromic acid concentration will decrease the value of the chrome deposit adhesiveness on the specimen, while the addition of gelatin concentration will reach its maximum adhesive value at concentrations of 81 g/l and the addition of gelatin concentration exceeds the concentration will lead to a decrease in the adhesive value

***Keywords : Concentration, Electroplating, Gelatin, Gel
Electrolyte, H_2CrO_4***

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Teknologi Pelapisan	5
2.2 <i>Chromium (Cr)</i>	7
2.3 Asam Kromat	8
2.4 Elektroplating.....	9
2.4.1 Konsep Dasar	9
2.4.2 Sel Elektrolisis.....	11
2.4.3 Hukum Elektrolisis Faraday.....	12
2.4.4 Elektrodposisi	15
2.4.5 Tipe-tipe Elektrodposisi Paduan.....	16
2.4.6 Ketebalan Deposit	17
2.4.7 Larutan Elektrolit	18
2.4.8 <i>Chromium Plating</i>	19
2.4.8.1 <i>Bath Composition</i>	21
2.4.8.1.1 <i>Chromic Acid Baths: Operating Conditions</i> ..	22

2.4.9 Proses Pelapisan Krom	24
2.4.10 Bentuk Umum Deposit Krom.....	24
2.5 Preparasi Permukaan Sebelum Elektroplating.....	27
2.5.1 <i>Surface Cleaning</i>	27
2.5.1.1 Pendekatan Kimia.....	27
2.5.1.1.1 <i>Solvent Degreasing</i>	28
2.5.1.1.2 <i>Alkaline Cleaning</i>	28
2.5.1.1.3 <i>Acid Cleaning</i>	28
2.5.1.2 Pendekatan Mekanik.....	28
2.5.2 <i>Surface Modification</i>	29
2.5.3 <i>Rinsing</i>	29
2.6 Efisiensi Arus	29
2.7 Gelatin	31
2.7.1 Proses Manufaktur.....	32
2.7.1.1 <i>Raw Material</i>	32
2.7.1.2 Proses Produksi.....	33
2.7.1.3 <i>Pretreatment</i>	33
2.7.2 Komposisi.....	34
2.7.3 Mekanisme Gelatinisasi.....	35
2.7.4 Struktur Gelatin dalam Gel.....	36
2.7.5 Kekuatan Gel	37
2.8 Elektrolit Gel	38
2.9 Baja Karbon.....	39
2.9.1 Baja Karbon Rendah.....	40
2.9.2 Baja Karbon Menengah.....	40
2.9.3 Baja Karbon Tinggi	41
2.10 Anoda Tak Terlarut	41
2.11 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit, <i>Gelling Agent</i> , dan pH	42
2.12 Komposisi Asam Kromat dalam Pembuatan Elektrolit..	44
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 47
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	47

3.2 Alat dan Bahan Percobaan	48
3.2.1 Bahan Percobaan	48
3.2.2 Peralatan Percobaan	48
3.3 Prosedur Percobaan	51
3.3.1 Preparasi Spesimen	51
3.3.2 Preparasi Elektrolit Gel	52
3.3.3 Pembuatan Elektrolit Gel	53
3.3.4 Susunan Rangkaian Elektroplating	57
3.4 Proses Elektroplating	57
3.5 Uji Deposit Lapisan Spesimen	59
3.6 Pengujian Ketebalan	60
3.7 Pengujian Kelekatan	61
3.8 Rancangan Penelitian	64
 BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	67
4.1 Analisa Data	67
4.1.1 Pengamatan Makro dan Mikro Spesimen Hasil Elektroplating	65
4.1.2 Pengukuran Berat Deposit Lapisan dan Perhitungan Efisiensi Katoda	70
4.1.3 Pengujian Ketebalan Deposit Lapisan Krom	74
4.1.5 Pengujian Kelekatan Lapisan <i>Coating</i>	78
4.2 Pembahasan	82
4.2.1 Pengaruh Konsentrasi Asam Kromat (H_2CrO_4) terhadap Ketebalan dan Kualitas Lapisan Krom	83
4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Gelatin terhadap Ketebalan dan Kualitas Lapisan Krom	87
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	91
 DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN	xxvii
BIODATA PENULIS	xxxv

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proses <i>coating</i> yang Digunakan untuk Perlindungan Permukaan.....	6
Tabel 2.2 Parameter untuk Melakukan <i>Chromium Plating</i>	21
Tabel 2.3 Jenis Larutan Lapisan Krom	25
Tabel 2.4 Efisiensi Katodik Beberapa Unsur dalam Elektrolisis.....	31
Tabel 2.5 Pengaruh Gelatin 5% terhadap pH dan Konsentrasi Elektrolit.....	43
Tabel 2.6 Pengaruh Agar-agar 3% terhadap pH dan Konsentrasi Elektrolit.....	43
Tabel 2.7 Hasil Maksimal yang Didapatkan untuk Mengubah Larutan Elektrolit CuSO ₄ Menjadi Bentuk Gel.....	43
Tabel 2.8 <i>Surface Bath for Hard Chromium Plating</i>	44
Tabel 3.1 Komposisi Pembuatan Elektrolit Gel.....	53
Tabel 3.2 Pengukuran Berat Spesimen	64
Tabel 3.3 Pengukuran Ketebalan Deposit Lapisan Krom	65
Tabel 3.3 Pengukuran Nilai Kelekatan Deposit Lapisan Krom	65
Tabel 4.1 Berat Deposit Spesimen Secara Aktual dan Teoritis	71
Tabel 4.2 Efisiensi Katoda pada Spesimen Hasil Elektroplating	72
Tabel 4.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan <i>Coating</i>	75
Tabel 4.4 Hasil Uji Kelekatan Lapisan <i>Coating</i>	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Coating.....	7
Gambar 2.2 Prinsip Elektroplating.....	11
Gambar 2.3 Kecepatan <i>Plating</i> pada 400 g.L ⁻¹ 100:1	23
Gambar 2.4 Perbedaan Perilaku Elektrokimia dari Dua Bentuk Deposit Krom	26
Gambar 2.5 Konfigurasi Kimia Gelatin	35
Gambar 2.6 Kekuatan Gelatin sebagai Fungsi Konsentrasi	37
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	47
Gambar 3.2 Bahan-bahan Pembuatan Elektrolit Gel	49
Gambar 3.3 Alat-alat Percobaan	50
Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji.....	51
Gambar 3.5 (a) Pembuatan Larutan Asam Kromat	56
(b) Penambahan Asam Sulfat sebagai Katalis.....	56
(c) Pembuatan Larutan Gelatin.....	56
(d) Pencampuran Larutan Asam Kromat dan Gelatin	56
(e) Elektrolit Gel yang Terbentuk	56
Gambar 3.6 Rangkaian Elektroplating	57
Gambar 3.7 (a) Anoda Timbal dengan Kain Kasa	58
(b) Baja AISI 1045 sebagai Katoda.....	58
Gambar 3.8 Proses Elektroplating dengan Elektrolit Gel	59
Gambar 3.9 Alat Uji Deposit Lapisan Spesimen SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50.....	60
Gambar 3.10 Alat Uji Ketebalan MiniTest 600	61
Gambar 3.11 Skema Pengujian Ketebalan pada Lima Titik Spesimen	62
Gambar 3.12 Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester	62
Gambar 3.13 Spesimen Uji Kelekatan	63
Gambar 3.14 Skema Uji Kelekatan Spesimen	64
Gambar 4.1 Spesimen Sebelum Elektroplating.....	67
Gambar 4.2 Spesimen Setelah Elektroplating	

(a) Konsentrasi Asam Kromat 250 g/liter.....	67
(b) Konsentrasi Asam Kromat 300 g/liter	68
(c) Konsentrasi Asam Kromat 350 g/liter.....	68
Gambar 4.3 Pengamatan Mikro Permukaan Spesimen Hasil Elektroplating	69
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Asam Kromat – Efisiensi Katoda.....	73
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Asam Kromat – Ketebalan.....	77
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Gelatin – Ketebalan	78
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Asam Kromat – Kelekatan.....	80
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Gelatin Kelekatan	80
Gambar 4.9 Hasil Pengujian Kelekatan yang Baik	82
Gambar 4.10 (a) Struktur Butir Sebelum Peleburan.....	86
(b) Struktur Butir Setelah Peleburan	86
Gambar 4.11 (a) Perbedaan Ukuran Kisi.....	86
(b) <i>Misfit Stress</i>	86



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, perlindungan terhadap korosi dengan cara memperlambat timbulnya korosi pada material merupakan suatu hal yang penting untuk dilakukan. Terdapat berbagai usaha yang sering dilakukan untuk memperlambat timbulnya korosi, salah satunya adalah dengan cara pelapisan (*coating*). Salah satu jenis pelapisan yang banyak dilakukan adalah dengan cara elektroplating. Proses pelapisan dengan elektroplating dilakukan dengan cara merendam benda yang akan dilapisi menggunakan larutan elektrolit selama beberapa waktu lamanya. Jenis pelapisan dengan elektroplating ini memiliki kinerja yang cukup baik dalam memperlambat laju korosi, namun proses pelapisan dengan cara merendam benda kerja dalam larutan elektrolit tersebut memiliki kelemahan, salah satunya adalah ketika suatu komponen benda kerja telah terpasang pada benda kerja dan lapisan pelindungnya mengalami kecacatan, maka komponen tersebut harus dibongkar kembali dari susunan benda kerjanya.

Permasalahan dalam proses elektroplating tersebut dapat diatasi dengan cara mengubah larutan elektrolit yang digunakan dalam proses pelapisan. Larutan elektrolit pada proses elektroplating dapat dimodifikasi dengan cara mengubahnya ke dalam bentuk gel, atau biasa disebut dengan elektrolit gel. Dengan cara ini maka elektroplating pada benda kerja dapat dilakukan tanpa pencelupan, proses pelapisan dapat langsung diaplikasikan pada komponen benda kerja yang membutuhkan pelapisan dengan cara langsung diusapkan seperti proses mengecat.

Penelitian mengenai elektroplating dengan menggunakan elektrolit gel telah dilakukan oleh Masayuki Itagaki dkk dengan bidang penelitian pada sifat-sifat elektrolit gel yang digunakan untuk proses elektroplating. Penelitian lanjutan untuk mengetahui kualitas hasil elektroplating menggunakan gel elektrolit dengan



elektrolit berupa tembaga telah cukup banyak dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan konduktivitas listrik, namun belum meningkatkan ketahanan korosi terlalu jauh. Unsur yang banyak digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi suatu benda kerja adalah krom.

Dalam penelitian ini digunakan elektrolit berupa asam kromat untuk proses elektroplatingnya, krom digunakan karena unsur ini memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik, meningkatkan, kekerasan, tahan aus dan memiliki nilai estetika yang cukup baik. Pada penelitian ini digunakan baja, baja banyak diaplikasikan pada peralatan-peralatan yang membutuhkan keunggulan yang dimiliki oleh krom dalam hal elektroplating. Akan diteliti pengaruh konsentrasi H_2CrO_4 dalam depositnya pada baja dan pengaruh gelatin sebagai *gelling agent* dalam elektrolit gel terhadap ketebalan lapisan dan kualitas lapisan krom pada baja.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam proses elektroplating baja dengan krom menggunakan elektrolit H_2CrO_4 terdapat beberapa variabel yang dapat mempengaruhi ketebalan lapisan krom pada benda kerja dari proses elektroplating tersebut, antara lain, konsentrasi ion-ion logam pelapis dan gelatin (*gelling agent*) dalam gel elektrolit. Sehingga hal yang akan diteliti adalah :

1. Bagaimana pengaruh pencampuran konsentrasi H_2CrO_4 dalam elektrolit gel H_2CrO_4 terhadap ketebalan dan kekuatan lekat deposit Cr?
2. Bagaimana pengaruh pencampuran konsentrasi gelatin dalam elektrolit gel H_2CrO_4 terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan krom hasil elektroplating tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel yang diabaikan dan dianggap tidak berubah, antara lain :



1. Adanya bahan-bahan pengotor (*impurities*) pada elektrolit gel diabaikan
2. Variabel densitas arus, waktu kontak, temperatur dan pH selama proses elektroplating dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh pencampuran konsentrasi H_2CrO_4 dalam elektrolit gel H_2CrO_4 yang digunakan dalam proses elektroplating terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan krom yang dihasilkan pada baja.
2. Menganalisis pengaruh pencampuran konsentrasi gelatin sebagai *gelling agent* dalam elektrolit gel H_2CrO_4 yang digunakan dalam proses elektroplating terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan krom yang dihasilkan pada baja.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan beberapa manfaat dalam hal elektroplating, antara lain :

1. Elektrolit gel khususnya elektrolit gel H_2CrO_4 dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam elektroplating krom sehingga komponen yang telah terpasang pada benda kerja dapat dilapisi tanpa harus melepaskannya dari benda kerja.
2. Diketahui pengaruh pencampuran konsentrasi H_2CrO_4 dan konsentrasi gelatin pada elektrolit gel H_2CrO_4 terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan krom yang dihasilkan pada proses elektroplating baja.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri atas lima bab yang dapat dirinci sebagai berikut :



BAB I PENDAHULUAN

Bagian awal ini tersusun atas enam sub bab yaitu : latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Teori yang diambil dari berbagai macam referensi akan digunakan untuk mendukung dan menyelesaikan masalah yang timbul selama penelitian dijabarkan pada bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini meliputi diagram alir perancangan dan tahap-tahap penelitian. Pada bagian sub bab juga dipaparkan peralatan yang digunakan serta urutan pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian yang telah dilakukan kemudian diolah sesuai urutan proses penelitian. Hasilnya dibahas untuk mempertajam hasil penelitian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian yang menjawab permasalahan disajikan secara padat pada sub bab ini. Saran-saran berisi hal-hal yang masih dapat dikerjakan untuk penelitian lebih lanjut.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pelapisan (*Coating*)

Banyak orang beranggapan bahwa aplikasi dari *coating* organik, inorganik atau metalik hanya melindungi benda dari serangan lingkungan pada bagian permukaan saja, sehingga memperpanjang waktu pakai, tetapi *coating* tidak hanya melindungi permukaan benda saja melainkan keseluruhan komponen benda. Implikasinya, dengan menggunakan material yang lebih sedikit atau lebih murah, digabungkan dengan penghematan energi, akan menghasilkan konsekuensi ekonomi yang cukup baik dan penghematan dalam hal teknologi pelapisan permukaan. Proses *coating* yang ditunjukkan pada tabel di bawah mengilustrasikan keberagaman proses *coating* yang tersedia secara komersial dan dapat digunakan untuk melindungi permukaan benda sehingga dapat memperpanjang waktu pakai dari suatu komponen atau peralatan.



Tabel 2.1 Proses *Coating* yang digunakan untuk Perlindungan Permukaan

Process	Process variants
Evaporation	Chemical vapour deposition (CVD)
	Physical vapour deposition (PVD)
	Sputtering
Hot metal process	Weld-surfacing
	Hot-dip galvanising
	Roll-coating
Painting	Application of inorganic <i>coatings</i>
	Application of organic <i>coatings</i>
	Appllication of low-friction <i>coatings</i>
Thermal spraying	Atmospheric-pressure plasma spraying
	Low-pressure plasma spraying
	Flame spraying
Metalising	Electroless metal <i>coatings</i>
	Electroplated metal <i>coatings</i>

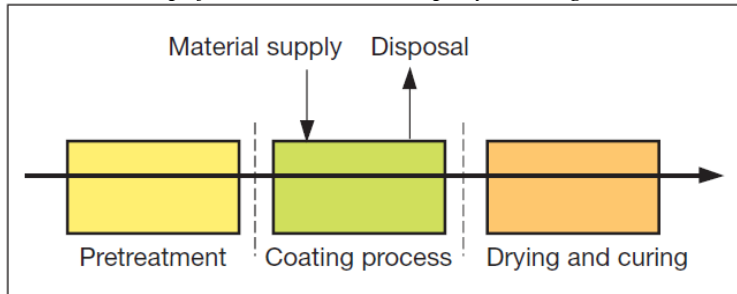
Apapun teknik *coating* yang digunakan, hampir selalu dibutuhkan untuk menggunakan *pretreatment* dan pembersihan permukaan yang sesuai untuk memaksimalkan kinerja hasil *coating*. (Kanani, 2005)

Desain dari teknologi pelapisan dan kualitas yang diinginkan dari proses pelapisan hanya akan bekerja maksimal jika sifat spesifik dari zat tersebut ikut diperhitungkan. Sifat kimi dan morfologi dari permukaan material sama pentingnya dengan desain, metode penyambungan dan konstruksi dari objek yang akan dilindungi. Objek yang akan dilapisi, *pretreatment*, dan proses pelapisan yang actual harus dengan optimal dikoordinasikan.

Pretreatment selanjutnya diikuti dengan proses *coating*, *drying and curing* dari material tersebut. Jalur aplikasi ini mengandung suatu bagian yang bekerja dengan udara segar yang



dikondisikan dan material *coating* yang berbentuk cair atau bubuk, *coating* material berbentuk padat dapat diubah menjadi secara homogen tipis, kuat secara mekanik. Dalam hal ini dapat berupa *brush*, *roller*, *dip*, *flood*, *curtain* atau *spray coating*.



Gambar 2.1 Proses Coating

Proses yang terjadi di dalam oven terkonsentrasi dalam penghilangan pelarut yang keluar dari proses pelapisan di satu sisi, sedangkan di sisi lain dimulainya reaksi kimia *crosslinking*. (Goldschmidt et al, 2007)

2.2 Chromium(Cr)

Krom (nomor atom 24) merupakan elemen transisi yang termasuk ke dalam golongan 6B dalam tabel periodik unsur. Dalam tabel periodic unsur, elemen transisi (semua elemen) (golongan 1B sampai 8B) terletak diantara golongan elemen utama (golongan 1A sampai 2A dan golongan 3A sampai 7A dan gas-gas inert – golongan 8A). atom-atom dari elemen transisi memiliki electron yang mengisi subkulit d dengan nilai lima orbital d.

Elemen transisi merupakan elemen yang penting karena memiliki lima orbital d :

1. Membentuk paduan satu sama lain pada satu golongan dan membentuk paduan dengan logam pada golongan utama,



2. Secara umum merupakan logam tidak berwarna yang berkilau dengan titik leleh dan titik didih yang tinggi.
3. Memiliki titik leleh dan densitas tinggi karena elektron pada orbital d mengikat atom-atom bersama dalam kisi kristal.
4. Membentuk senyawa yang umumnya berwarna cerah (contoh Cr(III) klorida berwarna ungu). Hal ini terjadi karena adanya energi yang ikut terbawa saat electron dengan tingkat energi lebih rendah berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi pada orbital d. Saat electron tersebut kembali ke posisi awalnya, electron tersebut melepas energi spesifik yang menghasilkan cahaya dari warna spesifik unsur tersebut.
5. Seperti yang terjadi pada logam-logam golongan utama, logam-logam golongan transisi juga membentuk garam. Akan tetapi, garam yang terbentuk pada logam-logam golongan utama akan memiliki kation yang mengimbangi anion [contoh halite atau natrium klorida (NaCl) saat dilarutkan dalam air dan membentuk larutan ionik dari $\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$], logam-logam transisi lebih mungkin untuk membentuk ion-ion kompleks atau ion-ion poliatomik dengan variasi yang lebih didominasi oleh muatan negatif.

Pada temperatur tertentu (20°C sampai 25°C), Cr memiliki warna perak dengan sifat yang getas, tahan korosi dan mampu dipoles. Logam berat merupakan logam yang memiliki densitas yang lebih tinggi dari 5 g/cm^3 pada temperatur tertentu; Cr dapat digolongkan menjadi golongan logam berat maupun tidak. (Guertin et al, 2005)

2.3 Asam Kromat

Ikatan primer dari Cr-O adalah krom (+6) oksida, CrO_3 , yang lebih dikenal dengan asam kromat, sebagai nama komersial dan nama umum. Senyawa ini dikenal juga dengan *chromic oxide* dan *chromic acid anhydride*. Kromium (+6) membentuk banyak



variasi dengan senyawa oksigen, kebanyakan dari senyawa yang terbentuk dianggap sebagai turunan dari oksida Cr^{6+} . Senyawa-senyawa itu meliputi oxy-halogen kompleks dan senyawa *chromyl*, *chromates*, *dichromates*, *trichromates*, *tetrachromates* dan *basic chromates*. Semua senyawa Cr^{3+} tersebut merupakan agen oksidasi yang kuat, meskipun secara kinetik mencakup jangkauan yang luas.

Chromic trioxide memiliki berat molekul 100,01 dan membentuk sistem subklas bipiramid. Densitas senyawa tersebut dalam bentuk padat sebesar $2,79 \text{ g.cm}^{-3}$. Senyawa ini meleleh dengan sedikit dekomposisi pada temperatur 197°C . CrO_3 memiliki sifat higroskopik. Memiliki kelarutan dalam air bervariasi mulai dari 61,7% pada 0°C sampai 67,5% pada 100°C . potensial oksidasi dari CrO_3 dan larutan kromat akan semakin besar dengan bertambahnya keasaman dari larutan. Asam kromat, H_2CrO_4 , tidak dapat diketahui kecuali dalam bentuk larutan, di mana menunjukkan kecenderungan yang jelas untuk membentuk *polyacids* dengan cara eliminasi air.

Perubahan yang terjadi dari H_2CrO_4 menjadi $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sangat cepat, tetapi polimerisasi yang selanjutnya terjadi akan memakan waktu yang dapat dihitung. Warna dari CrO_3 mengindikasikan bahwa senyawa tersebut telah terpolimerisasi secara hebat, saat warnanya lebih merah dari di atau trikromat dan muncul dalam warna seperti tetrakromat. Depolimerisasi dari larutan CrO_3 dalam air sangat cepat terjadi. CrO_3 sepertinya juga mengalami depolimerisasi pada proses pemanasan. (Mandich et al, 2010)

2.4 Elektroplating

2.4.1 Konsep Dasar

Elektroplating adalah suatu proses elektrodposisi untuk memproduksi suatu pelapisan yang padat, homogen dan dapat melekat dengan baik, biasanya digunakan pada logam atau paduan, pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan arus listrik.



Pelapisan biasanya digunakan untuk fungsi dekoratif dan/atau fungsi perlindungan, untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu pada permukaan benda kerja. Permukaan benda kerja dapat berupa konduktor, seperti logam, atau non konduktor, seperti plastik. Produk elektroplating secara luas digunakan untuk berbagai industri, seperti otomotif, kapal, mesin, elektronik, pertahanan dan industri mainan. Komponen utama dari proses elektroplating adalah sel elektrolitik (unit elektroplating). Dalam sel elektrolitik (unit elektroplating) sebuah arus akan berjalan melewati sebuah wadah yang mengandung elektrolit, anoda dan katoda. Dalam skala industri, biasanya *pretreatment* dan *posttreatment* dilakukan dalam prosesnya.

Benda kerja yang akan di plating merupakan katoda (kutub negatif). Sementara anoda dapat menjadi salah satu dari dua tipe : anoda korban (anoda dapat larut) dan anoda permanen (anoda inert). Anoda korban terbuat dari logam yang dapat didepositkan. Anoda permanen hanya dapat menjadi pelengkap pada sirkuit elektrik, tapi tidak dapat menyediakan logam baru sebagai sumber, menggantikan apa yang telah dipindahkan dari larutan oleh proses deposisi pada katoda. Platina dan karbon biasanya digunakan sebagai anoda inert.

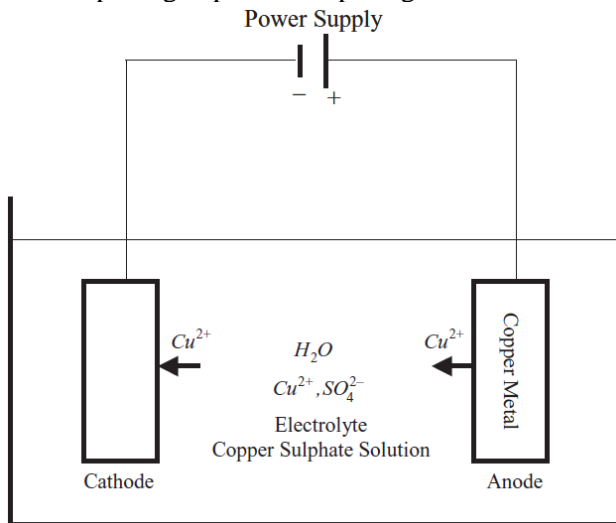
Elektrolit merupakan konduktor elektrik yang membawa arus listrik dengan ion, bukan dengan elektron bebas (seperti pada logam). Pada aplikasinya, ion positif pada elektrolit akan bergerak menuju katoda dan ion negatif akan bergerak menuju anoda. Perpindahan ion melalui elektrolit ini akan menegakkan arus listrik pada bagian sirkuit listrik tersebut. Perpindahan elektron menuju anoda melalui kabel dan sebuah generator listrik, dan kemudian kembali lagi menuju katoda yang akan menegakkan arus listrik dalam sirkuit internal. Ion logam dari garam dalam elektrolit membawa muatan positif dan akan tertarik ke arah katoda. Saat muatan tersebut mencapai bagian benda kerja yang bermuatan negatif, benda kerja akan menyediakan elektron untuk mereduksi muatan positif menjadi berbentuk metalik, dan



kemudian atom logam akan didepositkan ke permukaan benda kerja yang bermuatan negatif. (Huang, 2006)

2.4.2 Sel Elektrolisis

Saat arus listrik melewati suatu elektrolit, reaksi kimia akan terjadi saat adanya hubungan antara sirkuit listrik dan larutan elektrolit. Proses ini disebut elektrolisis. Elektrolisis terjadi pada sel elektrolit. Elektroplating merupakan salah satu tipe spesifik dari elektrolisis. Di samping elektroplating, elektrolisis juga secara luas digunakan untuk preparasi halogen dan klorin, dan pemurnian logam, seperti tembaga dan seng. Untuk memahami konsep elektroplating dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.2 Prinsip Elektroplating (Huang, 2006)

Perwujudan fisik dari proses elektroplating mengandung empat bagian :

1. Sirkuit eksternal, terdiri dari sebuah sumber arus searah (DC), akan menyalurkan arus listrik menuju tangki plating, dan menghubungkan beberapa instrumen seperti,



ammeter, voltmeter dan berfungsi untuk mengatur voltase dan arus.

2. Katoda bermuatan negatif, merupakan material yang akan di plating.
3. Larutan plating, hamper selalu berbentuk cair, disebut sebagai "*bath*".
4. Elektroda positif, anoda, biasanya merupakan logam yang telah di plating tetapi terkadang berasal dari material konduktif yang berperan hanya melengkapi sirkuit listrik, disebut inert atau anoda tak terlarut.

Larutan plating ditempatkan pada tangki plating, tangki tersebut harus berupa material yang sesuai dengan larutan yang berada di dalamnya : terkadang berupa baja lunak untuk larutan alkalin, dan baja-baja yang memiliki resistansi terhadap larutan asam. Selain dengan baja, dapat juga digunakan karet, berbagai variasi palstik atau bahkan gelas atau timah. (Osborne, 2006)

2.4.3 Hukum Elektrolisis Faraday

Pada tahun 1833, seorang ilmuwan Inggris, Michael Faraday mengembangkan hukum tentang elektrolisis. Hukum pertama dan hukum kedua Faraday tentang elektrolisis menyatakan bahwa jumlah material yang didepositkan pada elektroda sebanding dengan jumlah listrik yang digunakan. Jumlah zat berbeda yang dibebaskan dengan pemberian kuantitas listrik sebanding dengan ekuivalen elektrokimianya.

Dalam sistem SI, satuan kuantitas listrik dan satuan energi listrik adalah coulomb (C); satu coulomb sama dengan satu ampere yang mengalir selama satu detik ($1C = 1A \text{ sec}$). Ekuivalen elektrokimia dari suatu elemen adalah berat atomiknya dibagi dengan perubahan valensi yang terjadi selama reaksi. Bila dilihat dari reaksi spesifik, satu elemen mungkin memiliki berat ekuivalen yang berbeda, meskipun elemen tersebut hanya memiliki satu berat atom.



Untuk mereduksi satu mol yang diberikan oleh ion metal dengan valensi $n+$, dibutuhkan n mol elektron. Karena itu, total katoda yang digunakan dalam deposisi, $Q(C)$, adalah produk dari jumlah mol gram logam yang terdeposisi, m , jumlah elektron yang ikut tereduksi, n , bilangan Avogadro, N_a (jumlah atom dalam satu mol), dan energi listrik per elektron, $Q_e(C)$. jadi, persamaan berikut ini menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk mereduksi m mol logam :

$$Q = m n N_a Q_c \dots \dots \dots (2.1)$$

Hasil persamaan di atas adalah konstanta Faraday, F . Sehingga jumlah mol dari logam yang telah direduksi oleh muatan Q dapat di cari dengan persamaan :

$$m = \frac{Q}{nF} \dots \dots \dots (2.2)$$

Konstanta Faraday menunjukkan jumlah muatan listrik yang dibawa dalam 1 mol, atau jumlah elektron Avogadro. Konstanta Faraday dapat berasal dari pembagian bilangan Avogadro, atau angka dari elektron per mol, dengan angka elektron per coulomb. Nilai tertinggi dari bilangan Avogadro diperkirakan sekitar $6,02 \times 10^{23}$ dan nilai terendah sekitar $6,24 \times 10^{18}$. Sehingga :

$$F = \frac{(6,02 \times 10^{23})}{(6,24 \times 10^{18})} = 9,65 \times 10^4 \text{ C/mol} \dots \dots \dots (2.3)$$

Sedangkan muatan total yang digunakan dalam deposisi dapat dicari sebagai produk dari arus, $I(A)$, dan waktu deposisi, $t(sec)$, jika arus deposisi dipertahankan konstan. Atau jika arus bervariasi selama proses deposisi, dapat dicari dengan :

$$Q = \int I dt \dots \dots \dots (2.4)$$

Berat deposit , $W(g)$, dapat dicari dengan mengalikan mol logam yang tereduksi dengan berat atomik, M_w , dari logam yang terdeposit :

$$W = \frac{M_w}{nF} \int I dt \dots \dots \dots (2.5)$$



Secara ideal ketebalan deposisi, δ (cm) dapat dicari dengan persamaan :

$$\delta = \frac{W}{\rho A} = \frac{M_w}{nF \rho A} \int I dt \dots \dots \dots (2.6)$$

Di mana ρ adalah densitas logam (g/cm^3) dan A adalah luas area deposisi (cm^2). (Huang, 2006)

Untuk menentukan logam yang terdeposisi dengan arus dan waktu dapat ditentukan :

$$1 \text{ Faraday} = \text{ampere detik} / 96500 \dots \dots \dots (2.7)$$

Langkah selanjutnya adalah mengalihkan bilangan Faraday dengan bilangan gram yang diendapkan oleh arus listrik sebesar 1 Faraday yaitu:

- G = $(I \times t) / 96500 \times (Ar/Mr) / \text{Valensi}$
- G = berat logam yang terdeposisi (gram)
- I = rapat arus (ampere)
- T = waktu (detik)
- Ar/Mr = massa atom / molekul relatif

Untuk menentukan tebal pelapisan yang terjadi perlu diketahui berat jenis dari logam yang terlapis pada katoda. Hubungan berat jenis dengan harga-harga yang lainnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Volume (cc)} = \text{berat endapan (gram)} / \text{berat jenis} \dots \dots \dots (2.8)$$

Efisiensi plating pada umumnya dinyatakan sebagai efisiensi arus anoda maupun katoda. Efisiensi katoda yaitu arus yang digunakan untuk pengendapan logam pada katoda dibandingkan dengan total arus masuk. Arus yang tidak dipakai untuk pengendapan digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas atau pengendapan logam-logam lain sebagai impuritas yang tak diinginkan. Efisiensi anoda yaitu perbandingan antara jumlah logam yang terlarut dalam elektrolit dibanding dengan jumlah teoritis yang dapat larut menurut Hukum Faraday. Kondisi plating yang baik bila diperoleh efisiensi katoda sama dengan efisiensi anoda, sehingga konsentrasi larutan bila menggunakan anoda aktif akan selalu



tetap. Efisiensi arus katoda sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapat efisiensi plating sebesar 100 % ataukah lebih kecil. (Siregar, 2010)

Efisiensi arus katoda sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapatkan efisiensi plating sebesar 100% ataukah lebih kecil. Adanya kebocoran arus listrik, larutan yang tidak homogen dan elektrolisis air merupakan penyebab rendahnya efisiensi.

Efisiensi katoda dituliskan sebagai berikut

$$\eta = W'/W \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan

W' : berat endapan pada katoda

W : berat teoritis endapan pada katoda berdasarkan Hukum Faraday

(Harwono et al, 2013)

2.4.4 Elektrodeposisi

Elektrodeposisi mengarah kepada proses pertumbuhan film yang terdiri dalam formasi dari *coating* metalik terhadap material dasar yang terjadi melalui proses reduksi elektrokimia ion logam yang berasal dari elektrolit. Teknologi yang berhubungan dengan hal ini biasa disebut dengan istilah elektroplating. Disamping produksi *coating* metalik, reduksi elektrokimia logam juga digunakan untuk ekstraksi logam yang dimulai dari *ore* (*electrometallurgy*) atau untuk proses reproduksi *mold* untuk membentuk objek secara langsung menjadi bentuk akhir mereka (*electroforming*). Dalam banyak kasus, deposit metalik yang dihasilkan berupa kristalin; proses ini dapat juga disebut *electrocrystallization*.

Proses elektrodeposisi terdiri oleh imersi dari objek yang akan di *coating* dalam wadah yang mengandung elektrolit dan elektroda, diikuti dengan hubungan dari dua elektroda kepada



sumber listrik untuk membuat aliran arus. Objek yang akan di *coating* dihubungkan kepada kutub negatif dari sumber listrik, kemudian ion logam akan tereduksi menjadi atom logam yang akan membentuk deposit pada permukaan spesimen. (Gamburg, 2011)

Telah diketahui secara umum dalam ilmu material bahwa paduan dapat meningkatkan kualitas yang tidak teroptimalkan dari material dasar. Hal ini secara khusus benar untuk paduan yang dielektrodeposisikan. Beberapa sifat penting material seperti, kekerasan, keuletan, kekuatan tarik, modulus Young, ketahanan korosi, *solderability*, ketahanan aus dan ketahanan gesek mungkin saja untuk ditingkatkan. Pada saat yang sama beberapa sifat yang bukan merupakan karakteristik dari metal dasar seperti, *high magnetic permeability*, sifat magnetic dan elektrik lain, struktur amorf dan lainnya, dapat juga dihasilkan. Dalam beberapa kasus, *coating* paduan mungkin saja lebih cocok untuk elektroplating berlapis dan perawatan konversi kimia.

Beberapa paduan mungkin lebih mudah dihasilkan dengan cara elektrodeposisi daripada dengan cara metalurgi. Hal ini secara khusus benar untuk paduan yang tersusun dari logam dengan perbedaan yang besar dalam temperatur leleh atau tidak bisa dicampur dengan fase cair. Beberapa logam yang tidak dapat didepositkan dari larutan cair seperti, Ti, V, W, Nb, Zr dan lain-lain, logam-logam tersebut dapat didepositkan dari lelehan garamnya. (Jović, 1995)

2.4.5 Tipe dari Elektrodeposisi Paduan

Electrochemical codeposition dari dua logam untuk membentuk paduan dapat berupa : *equilibrium*, *irregular*, *regular*, *anomalous* dan *induced*. Klasifikasi ini berdasarkan pada hubungan antara komposisi dari paduan yang terdepositasi (persentase logam dalam paduan) dan rasio logam yang merepresentasikan persentase dari ion logam yang sesuai dalam larutan dari bentuk ionic mereka. Untuk *regular*, *irregular* dan



equilibrium codeposition, memiliki karakteristik bahwa kandungan relatif dari logam pada paduan yang didepositkan sesuai dengan yang diperkirakan dari hubungan antara potensial reversibelnya, sementara *anomalous codeposition* merujuk pada situasi yang berkebalikan. *Indiced codeposition* merupakan karakteristik dari logam yang tidak dapat di depositkan dari larutan seperti, Mo, Ti, W, Ge, tetapi bisa didepositkan dengan logam dari golongan besi (Fe, Co, Ni). (Brenner, 1963)

2.4.6 Ketebalan Deposit

Ketebalan dari proses *coating* adalah jarak normal antara permukaan logam dasar dan lapisan luar dari *coating*. Untuk keperluan praktik, direkomendasikan untuk menentukan ukuran maksimal dari daerah *coating*, yang akan diperhitungkan juga dengan biaya produksi minimal.

Ketebalan *coating* merupakan salah satu karakteristik dari teknologi pelapisan yang digunakan, ketebalan *coating* mempengaruhi berbagai sifat penting dari lapisan, seperti kekuatan ikatan antara *coating* dan logam dasar. Peningkatan ketebalan diatas titik maksimal ketebalan tidak hanya akan memberikan efek yang buruk terhadap sifat hasil *coating*, tetapi juga akan berdampak terhadap biaya. (Tushinsky, 2002)

Ketebalan deposit dapat dievaluasi dengan cara mempertimbangkan volume dari deposit. Karena volume dari deposit merupakan produk dari luas area plated surface dan ketebalan (tinggi) h , dengan $h = V/a$. Volume dari deposit berhubungan dengan tinggi dari deposit dan densitas dari deposit d dengan hubungan yang mendefinisikan densitas $d = w/V$, maka

$$h = \frac{V}{a} = \frac{w}{ad} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dalam kasus dimana diperlukan untuk menghitung waktu (dalam detik) yang dibutuhkan untuk mendapatkan ketebalan deposit yang diinginkan h pada rapat arus yang ditentukan maka akan digunakan hukum faraday dan mendapatkan



$$h = \frac{w}{ad} = \frac{ZQ}{ad} = \frac{ZIt}{ad} \text{ cm} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$t = \frac{had}{ZI} \text{ s} \dots \dots \dots (2.12)$$

(Paunovic et al,2010)

2.4.7 Larutan Elektrolit

Selama beberapa dekade terakhir, ratusan *plating bath* yang berbeda telah dikembangkan untuk mengoptimalkan deposisi dari logam atau paduan. Kegunaan dari karakterisasi *bath* ini adalah karena pH pada saat proses elektroplating. Dalam hal ini, satu proses memiliki *bath* berupa asam, netral dan alkalin, di mana nilai pH biasanya <3,=7 dan >9. Karena alasan ini, semua elektrolit pada proses plating menambahkan asam, alkali atau *buffer*. (Kanani, 2005)

Istilah elektrolit didefinisikan sebagai media konduktif untuk sebagian besar proses elektroplating. Elektrolit yang paling umum adalah larutan encer dengan cairan kimia yang larut dalam air. Saat arus listrik dialirkan melewati larutan melalui anoda dan katoda, deposisi logam terjadi pada katoda. Elektrolit memiliki variasi pada pH dan mungkin saja merupakan larutan asam, netral dan alkali.

Elektrolit harus mengandung garam yang terlarut dari logam untuk didepositkan. Garam tersebut akan larut dalam air dan membentuk ion. Secara umum, semakin kompleks suatu ion, semakin efisien dan semakin halus deposit logam yang terbentuk. Elektrolit yang paling kompleks berasal dari ion sianida, berbeda dengan ion tembaga sulfat yang sangat sederhana. Alasan utama mengapa elektrolit sianida biasanya dipakai adalah dengan sebuah ion yang kompleks, kandungan sebenarnya dari logam dalam ion relatif rendah dibandingkan dengan ion yang sederhana, dan hal ini memperlambat formasi dari imersi deposit saat katoda



ditempatkan pada elektrolit, yang dapat menyebabkan masalah dengan adhesi. (Poyner, 1987)

Setiap jenis proses pelapisan memiliki larutan elektrolit yang berbeda – beda tergantung pada sifat – sifat elektrolit yang diinginkan. Komposisi larutan elektrolit yang dipakai pada proses pelapis tembaga, nikel, krom adalah sebagai berikut :

- Komposisi pembuatan larutan elektrolit tembaga
 - CuCN 26,25 gr/l
 - NaK(C₄H₄O₆) 45 gr/l
 - NaCN 34,50 gr/l
 - Bright GI-3 5 ml/l
 - Na₂CO₃ 30 gr/l
 - Bright GI-4 8 ml/l
- Komposisi pembuatan larutan elektrolit nikel
 - NiSO₄ 250 gr/l
 - Bright I-06 5 ml/l
 - NiCl₂ 50 gr/l
 - Bright M-07 2 ml/l
 - H₃SO₄ 40 gr/l
- Komposisi pembuatan larutan elektrolit khrom
 - CrO₃ 250 gr/l
 - H₂SO₄ 2,5 ml/l

Larutan elektrolit selalu mengandung unsur garam dari logam yang akan dilapisi. Garam – garam tersebut sebaiknya dipilih yang mudah larut tetapi anionnya tidak mudah tereduksi. (Yogik, 2011)

2.4.8 Chromium Plating

Terdapat dua kelas dalam *chromium plating* : *decorative*, merupakan pelapisan tipis yang berguna untuk melindungi benda kerja dari noda, perlindungan yang tahan lama terhadap permukaan benda kerja; dan *hard chromium plating*, di mana pelapisan dengan skala industri digunakan untuk mengambil kelebihan dari sifat-sifat spesial yang dimiliki oleh krom, yang



meliputi resistansi terhadap panas, ketahanan aus, ketahanan korosi, ketahanan erosi, memiliki koefisien gesek yang rendah dan anti abrasi. (Svenson, 2006)

Ketebalan deposit dari *decorative plating* biasanya di bawah $0,80\text{ }\mu\text{m}$. *Decorative plating* memberikan efek tampilan yang berkilau dan juga tetap memberikan resistansi terhadap korosi. Pelapisan ini biasanya dilapiskan di atas pelapisan nikel tetapi terkadang dilapiskan langsung pada permukaan benda kerja.

Ketebalan deposit dari *hard chrome plating* lazimnya lebih tebal dari $0,80\text{ }\mu\text{m}$ dan digunakan pada skala industri, bukan untuk fungsi dekoratif. Berlawanan dengan *decorative plating*, pelapisan ini biasanya dilapiskan langsung pada benda kerja dan hanya dalam beberapa kasus saja dilapiskan di atas elektrodeposit lain, seperti nikel.

Tidak seperti pelapisan logam yang lain, krom tidak dapat didepositkan dari larutan cair yang mengandung ion logam saja. Proses pelapisan krom harus mengandung satu atau lebih asam radikal yang berperan sebagai katalis (untuk *hexchromium*) atau *complexer* (untuk *trichromium*) untuk membawa atau membantu pada deposisi katodik dari logam krom. Katalis yang paling umum digunakan untuk proses *double-(mixed-) catalyzed, hexchromium* adalah sulfat dan fluoride. Fluoride umumnya dalam bentuk kompleks seperti silikonfluoride (SiF_6^{2-}), sejak fluoride sederhana hanya efektif pada kuantitas kecil yang menyebabkan proses control menjadi sulit. Untuk keberhasilan dalam proses yang berkelanjutan, rasio (dengan berat) asam kromat dengan total katalis asam radikal harus di atur : umumnya sekitar 100 : 1 pada sulfat. (Mandich *et al*, 2010)

Larutan *plating* merupakan larutan yang sama untuk kedua jenis *plating* (asam kromat dan katalis sulfat) tetapi memiliki waktu untuk *plating* yang sangat berbeda. *Hard chromium plating* bisa mencapai 24 jam, sementara *decorative plating* hanya selama 5 menit. Sumber tenaga untuk melakukan pelapisan adalah *rectifier* yang mengkonversi *alternating current*



(AC) menjadi *direct current* (DC). Tabel berikut menunjukkan kondisi untuk melakukan pelapisan krom secara *hard plating* dan *decorative plating* : (Paine, 2011)

Tabel 2.2 Parameter untuk melakukan *Chromium Plating*

Parameter	Hard Chromium	Decorative Chromium
Chromic Acid (g/L)	250	250
Temperature (F)	120 - 140	90 - 120
Cathode	Part to be plated	Part to be plated
Anode	Lead – Antimony alloy	Lead – Antimony alloy
pH	< 1	< 1
Sulphate catalyst (g/L)	2.5	2.5
Plating time	5 minutes – 24 hours	Up to 5 minutes
Current Density	500 Amps/square foot	175 – 300 Amps/square foot

(Sumber tabel : Metal Finishing Guidebook, 2001)

2.4.8.1 Bath Compositions

Elektrolit heksavalen yang paling umum digunakan pada proses elektrodposisi adalah *chromic anhydride* CrO_3 sebagai sumber logam; dalam larutan, senyawa ini menjadi asam kromat; lebih tepatnya larutan ini merupakan campuran dari dua asam : H_2CrO_4 dan $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Deposisi krom dalam bentuk metalik dari larutan ini mungkin saja terjadi hanya jika terdapat anion tertentu, yang bekerja sebagai katalis untuk mereduksi krom sampai $\text{Cr}(0)$. Asam sulfat secara luas digunakan pada konsentrasi 100 kali lebih kecil (secara massa) dibanding dengan CrO_3 . Saat ini semakin banyak elektrolit menggunakan katalis berupa campuran sulfat-fluoride yang bekerja lebih baik dibanding hanya menggunakan sulfat saja; *covering power* dan efisiensi arus yang dihasilkan lebih tinggi, diikuti dengan adhesivitas yang lebih baik.

Konsentrasi CrO_3 bervariasi dalam rentang dari 150 sampai 450 g/l; komposisi yang lebih encer digunakan untuk menghasilkan *coating* dengan tingkat ketahanan aus yang baik, sementara larutan yang berkonsentrasi akan menghasilkan *coating* untuk fungsi dekoratif dan perlindungan terhadap korosi dengan tingkat kekerasan yang lebih rendah. Efisiensi katoda tertinggi dicapai pada konsentrasi antara 230 sampai 250 g/l (ini



merupakan konsentrasi yang paling umum digunakan) dan semakin meningkat dengan densitas arus yang semakin tinggi.

Konsentrasi katalis yang biasa digunakan adalah sebagai berikut. Tipe katalis tunggal (hanya sulfat) mengandung asam sulfat dalam rasio 1:100 dengan *chromium anhydride*; peningkatan dalam konsentrasi katalisnya akan menyebabkan munculnya *porosity* pada depositnya. Katalis yang dikombinasikan dapat terdiri dari 2 g/l sulfat dan 4 g/l sodium fluorosilicate. Methanesulfonate atau methyl sulfochloride (1-3 g/l) dapat juga digunakan; bahan tambahan kimia lain yang juga mungkin untuk ditambahkan adalah selenium dioxide. Akhir-akhir ini, beberapa tipe bahan tambahan organik (*organic acid salts, alkyl sulfonic acids*) juga digunakan untuk menaikkan efisiensi arus, kekilapan dan kekerasan dari lapisan *coating*.

Sulfat dapat ditambahkan tidak hanya sebagai H_2SO_4 tetapi juga sebagai *strontium salt*, yang dilarutkan dalam wadah terpisah. Senyawa SrSO_4 memiliki tingkat kelarutan yang rendah, dan senyawa ini ditambahkan ke dalam larutan dengan konsentrasi sedikit di atas tingkat kelarutan (sekitar 6 g/l), sehingga konsentrasi sulfat secara otomatis dipertahankan; sehingga larutan ini dinamakan *self-regulating*. Persiapan untuk strontium carbonate dilakukan dengan mereaksikan senyawa tersebut dengan asam sulfat dalam larutan; hasil larutan yang didapatkan harusnya berupa sulfat.

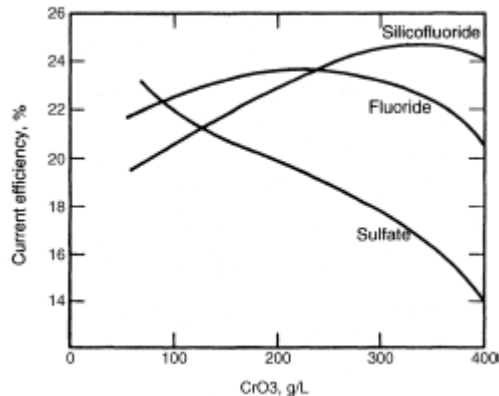
Temperatur operasi maksimum yang biasa digunakan adalah pada 55°C , tetapi temperatur aktual bergantung kepada tipe deposit yang ingin dihasilkan dan berhubungan dengan densitas arus yang digunakan. Densitas arus akan lebih tinggi pada temperatur yang lebih rendah, sehingga temperatur maksimum yang biasa digunakan adalah 40°C . (Gamburg, 2011)

2.4.8.1.1 Chromic Acid Baths : Operating Conditions

Umumnya, plating yang mengkilap dihasilkan dengan menjaga temperatur dan densitas arus dalam batas tertentu,



memperhitungkan konsentrasi asam kromat pada *bath* dan rasio katalis. Grafik di bawah menunjukkan kondisi untuk plating yang menghasilkan hasil yang mengkilap.



Gambar 2.3 Kecepatan Plating pada 400 g.L⁻¹ 100:1

Oleh karena itu untuk menghasilkan deposit yang mengkilap dari larutan yang mengandung 250 g.L⁻¹ asam kromat dan 2,5 g.L⁻¹ sulfat pada temperatur 40°C, harus digunakan densitas arus antara 3 dan 16 A.dm⁻²; pada temperatur 45°C, densitas arus yang digunakan harus 50% lebih tinggi.

Jika diinginkan plating yang lebih cepat dan sumber densitas arus yang memadai tersedia, maka temperatur plating biasanya dinaikkan menjadi sekitar 55°C dan densitas arus menjadi sekitar 30 A.dm⁻². Kondisi tersebut berlaku ketika digunakan dengan konsentrasi larutan 250 g.L⁻¹ untuk menghasilkan *heavy plate* untuk keperluan industri, menghasilkan kecepatan plating hampir 25 µm per jam. Kecepatan plating yang lebih tinggi dapat dihasilkan pada densitas arus dengan rasio 80:1, tetapi deposit yang dihasilkan cenderung menjadi agak kasar dan berbentuk nodular. (Mandich, 2010)



2.4.9 Proses Pelapisan Chromium

Proses pelapisan *chrome* bisa dilakukan secara langsung pada *stainless steel* atau sebagai proses lanjut *nickel plating*. Mekanisme proses sama dengan proses *nickel plating*. Sebagai anoda dipakai paduan *lead* (Pb), elektrolit dipakai *chromic acid* (Cr_2O_3 , H_2SO_4), *chromic flouride* (Cr_2O_3): 150 -200 gr/l, H_2SO_4 : 1,2 – 0,8 gr/l dan KF: 0,6 – 0,8. Reaksi redoks yang terjadi sebagai berikut:

Reaksi reduksi *chromium plating* pada katoda :

- Pengendapan chromium :
 $\text{Cr}_2\text{O}_7^- + 14 \text{H}^+ + 12 \text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr} + 7 \text{H}_2\text{O}$
- Pelepasan gas hidrogen : $2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
- Pembentukan Cr (III) : $\text{Cr}_2\text{O}_7^- + 14 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2$

Reaksi oksidasi *chromium plating* pada anoda :

- Pelepasan hidrogen : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$
- Oksidasi ion chromat :
 $2 \text{Cr}^{3+} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CrO}_3 + 12 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$
- Produksi timbal oksida : $\text{Pb} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$

Berdasarkan reaksi di atas, terlihat hidrogen selalu dibebaskan pada katoda, sedang sebagian terperangkap diantara lapisan chromium. Jika arus melewati elektrolit, endapan khrom akan menempel di katoda dengan cara membebaskan hidrogen dan mereduksi Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} . Seding pada anoda terjadi pembebasan oksigen bersamaan dengan oksidasi Cr^{3+} menjadi Cr^{6+} yaitu pembentukan kembali CrO_3 , sehingga larutan elektrolit tetap konstan. (Setyo et al, 2012)

2.4.10 Bentuk Umum Deposit Krom

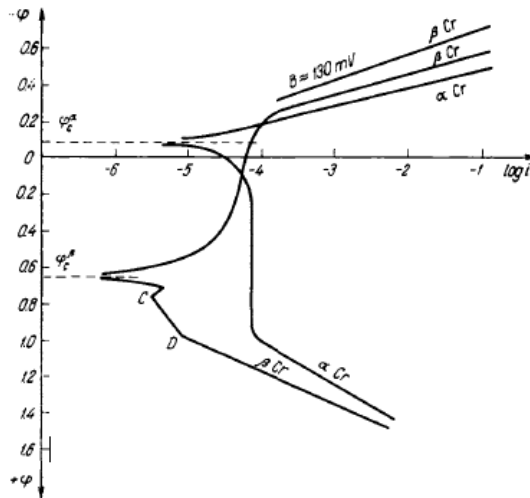
Selama ini banyak tidak disadari bahwa krom yang secara umum didepositkan dari larutan asam kromat secara khas memiliki dua bentuk lapisan yang berbeda dalam hal sifat dan struktur bila dilihat menggunakan X-ray. Perbedaan dari dua jenis lapisan deposit krom tersebut dapat dilihat dari Tabel 2.3 di bawah ini :



Tabel 2.3 Jenis Larutan Lapisan Krom

COLD SOLUTION FORM	WARM SOLUTION FORM
Cold chromium or dull chromium	Bright chromium
Hexagonal chromium	Cubic chromium
Hexagonal close packed (hcp)	Body centered cubic (bcc)
Chromium hydride	Cubic chromium
β -chromium	α -chromium

Cold chromium (krom dingin) atau hibrida heksagonal merupakan jenis larutan yang akan menghasilkan lapisan yang halus, deposit dengan warna kusam dihasilkan pada temperatur 20°C dan temperatur kurang dari itu. Deposit ini merupakan bentuk lapisan yang tidak stabil dan cenderung akan kembali ke bentuk stabilnya berupa bentuk kubik dalam beberapa minggu dengan temperatur kamar tanpa perubahan penampilan. Deposit lapisan dari temperatur 20°C sampai 40°C mengandung campuran berbagai proporsi dari struktur heksagonal dan kubik, sementara itu di atas temperatur 40°C deposit krom seluruhnya memiliki struktur kubik.



Gambar 2.4 Perbedaan Perilaku Elektrokimia dari Dua Bentuk Deposit Krom

Banyak artikel yang telah ditulis mengenai plating krom pada temperatur 20°C tanpa menyebutkan bahwa deposit yang terbentuk dari proses tersebut kusam dan memiliki sedikit kemiripan dengan plating yang menghasilkan warna cerah yang diperoleh dari proses plating dengan menggunakan larutan *warm chromium*. Kesimpulan didapatkan dari penelitian dari *cold baths* yang mungkin ataupun tidak diaplikasikan untuk plating menggunakan larutan hangat. Sementara itu, secara umum terdapat hubungan yang sangat dekat dan tingkat pengaplikasian yang sangat beralasan.

Pada gambar di atas menunjukkan hasil yang didapatkan oleh peneliti pada sampel spesimen yang diaktivasi dengan etsa menggunakan konsentrat asam hidroklorida. Kutub negatif merupakan katoda dan kutub positif merupakan anoda. Dari grafik dapat diketahui bahwa β chromium (heksagonal) sangat berbeda dengan α chromium (kubik). β chromium memiliki kekuatan



mempasifkan logam lebih besar dan memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih baik.

Walaupun *cold chromium* atau β chromium memiliki beberapa sifat yang diinginkan dalam proses plating, tetap harus diketahui bahwa berbahaya untuk menggunakan larutan *cold chromium* untuk melakukan proses *hard chromium plating* untuk keperluan benda tahan aus, karena larutan *cold chromium* memiliki nilai kelekatan yang rendah. Salah satu kelebihan yang didapatkan dari penggunaan larutan *warm chromium* adalah dari larutan ini didapatkan nilai kelekatan yang tinggi, meskipun mungkin arus selama proses plating terganggu dan lapisan kedua dari krom akan mengelupas terlebih dahulu. (Dubpernell, 1977)

2.5 Preparasi Permukaan Sebelum Elektroplating

Benda kerja yang akan di *plating* harus melalui proses pembersihan sebelumnya, tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan kontaminan seperti, debu dan film yang masih menempel pada permukaannya. Kontaminasi permukaan dapat berupa kotoran organik, debu dari lingkungan atau proses sebelumnya dan ekstrinsik seperti lapisan oksida alami. Untuk itu, pembersihan permukaan penting untuk memastikan kualitas pelapisan. Kebanyakan pembersihan permukaan logam memiliki tiga langkah dasar : *surface cleaning*, *surface treatment* dan *rinsing*.

2.5.1 Surface Cleaning

Metode pembersihan yang digunakan harus bisa meminimalisasi kerusakan zat selama proses pembersihan kontaminan, debu, film dan/atau puing. Proses pembersihan didasarkan pada dua pendekatan : pendekatan secara kimia dan pendekatan secara mekanik.

2.5.1.1 Pendekatan kimia

Pendekatan secara kimia biasanya meliputi *solvent degreasing*, *alkaline cleaning*, (*soak cleaning*) dan *acid cleaning* (*acid pickling*).



2.5.1.1.1 Solvent degreasing

Kontaminan mengandung minyak dan pelumas dari berbagai tipe, lilin dan berbagai macam material organik. Kontaminan tersebut dapat dihilangkan dengan pelarut organik yang sesuai, baik dengan mencelupkan benda kerja dalam pelarut atau dengan penurunan uap.

2.5.1.1.2 Alkaline cleaning

Benda kerja diimersi dalam tangki yang mengandung larutan pembersih alkalin yang panas untuk menghilangkan kotoran dan tanah. Sebuah tipe alkalin yang spesial dinamakan *electrocleaning*. Pada *electrocleaning*, benda kerja dapat berupa katoda (*direct cleaning*) ataupun anoda (*reverse cleaning*). Penambahan *electrocleaning* pada pembersihan kimia dari pembersih akan menyebabkan munculnya pembersihan secara mekanik disebabkan oleh munculnya banyak gas pada permukaan benda kerja.

2.5.1.1.3 Acid Cleaning

Acid cleaning dapat membersihkan kerak berat, kerak yang timbul karena proses pemanasan, oksida dan sejenisnya. Jenis asam yang paling sering dipakai meliputi sulfur dan hidroklorida. *Pickling* juga dapat dikombinasikan arus agar lebih efektif.

2.5.1.2 Pendekatan Mekanik

Preparasi mekanik meliputi *polishing*, *buffing* dan beberapa variasi lainnya. *Polishing* digunakan untuk menghilangkan sejumlah kecil logam dengan cara abrasif. Dari proses ini akan didapatkan permukaan yang bebas dari cacat yang diakibatkan oleh proses *grinding* dan merupakan awal untuk melakukan *buffing*. *Buffing* sama dengan proses *polishing*, tetapi *buffing* menggunakan abrasif yang lebih halus untuk menghilangkan sangat sedikit bagian logam. *Buffing* dapat menghasilkan permukaan logam yang sangat halus.



2.5.2 Surface Modification

Surface modification meliputi perubahan pada atribut permukaan, seperti aplikasi dari lapisan logam dan/atau pengerasan.

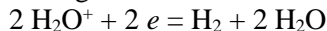
2.5.3 Rinsing

Dalam *wet plating*, saat benda kerja ditransfer dari satu larutan perlakuan ke perlakuan lain, atau saat benda kerja tersebut meninggalkan larutan perlakuan terakhir, benda kerja tersebut mengandung sedikit larutan yang telah diimersi. Larutan ini disebut *drag-out*. Dalam banyak kasus, residu larutan ini harus dihilangkan dari permukaan benda kerja dengan cara *rinsing* sebelum benda kerja memasuki tahap selanjutnya dalam rangkaian pelapisan, atau keluar dari larutan proses akhir. (Huang, 2006)

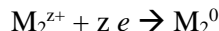
2.6 Efisiensi Arus

Dalam banyak proses praktik, arus banyak digunakan pada proses sampingan yang terjadi secara paralel dengan deposisi logam. Dalam kasus ini, sangat penting untuk menentukan hubungan antara densitas arus dari dua atau lebih proses paralel yang terjadi secara bersamaan pada beberapa potensial yang belum ditentukan.

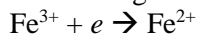
Proses sampingan yang terjadi dapat bervariasi secara alami. Seperti yang telah diketahui, munculnya hydrogen mungkin saja terjadi sebagai hasil dari elektrolisis air :



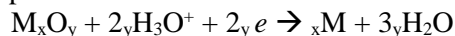
di samping itu, deposisi (*co-deposition*) dari logam lain dapat terjadi dengan :



selain itu, reduksi parsial dari ion logam dimungkinkan, contoh :



pada akhirnya, reduksi pada lapisan permukaan oksida dapat terjadi seperti pada :





bersama dengan reaksi yang lain, beberapa dari persamaan di atas dapat terjadi secara kimia pada proses asalnya.

Jika proses kedua adalah deposisi dari logam lain, maka evaluasi dari densitas arus untuk dua proses secara dekat berkaitan dengan komposisi dari paduan yang dideposisi, menimbang bahwa rasio molar konsentrasi dari dua logam dalam paduan secara proporsional terhadap densitas arus yang sesuai.

Penentuan efisiensi katoda dalam proses elektroplating secara praktik dilakukan dengan pengukuran berat sebelum dan setelah proses elektroplating dari sampel dengan menggunakan neraca analitik bersamaan dengan penentuan arus yang mengalir. Efisiensi katodik dalam beberapa elektrolisis dapat dilihat pada Tabel 2.4



Tabel 2.4 Efisiensi Katodik Beberapa Unsur dalam Elektrolisis

Metal	Type of the electrolyte	Average cathodic efficiency
Ag	Cyanide	0.98
Au	Citrate	0.60
Au	Phosphate	0.95
Cd	Cyanide	0.90
Cd	Sulf-ammonia	0.90
Co	Sulfate	0.88
Cr	Chromate	0.18
Cu	Sulfate	1.00
Cu	Cyanide	0.75
Cu	Pyrophosphate	0.99
Fe	Chloride	0.90
Fe	Sulfate	0.92
Fe	Fluoroboric	0.95
Ni	Sulfate	0.96
Ni	Sulfamate	0.98
Pb	Fluoroboric	0.99
Pd	Amino-chloride	0.80
Re	Sulf-ammonia	0.25
Rh	Sulfate	0.70
Sb	Citrate	0.94
Sn	Stannate	0.80
Sn	Pyrophosphate	0.90
Sn	Sulfate	0.95
Zn	Cyanide	0.80
Zn	Sulfate	0.97

(Gamburg, 2011)

2.7 Gelatin

Gelatin adalah polipeptida molekular yang berasal dari kolagen, komponen protein utama dari jaringan penghubung hewan, yang meliputi tulang, kulit dan tendon. Gelatin ditemukan pertama kali di US Pharmacopeia (USP) sebagai produk yang diperoleh dengan hidrolisis parsial dari kolagen yang didapat dari kulit, jaringan penghubung putih dan tulang hewan. (Poppe, 1992).

Gelatin merupakan material berprotein yang didapatkan dari jaringan ikat hewan dengan menggunakan metode hidrolisis dalam larutan asam (tipe A) atau basa (tipe B) yang diikuti dengan



ekstraksi air panas. Gelatin dikarakterisasi berdasarkan pada kekuatan gel “Bloom” dan proses ekstraksi. Gelatin terhidrat secara alami pada air hangat ataupun panas dan akan membentuk larutan dengan viskositas rendah yang memiliki sifat *whipping* dan *foaming* yang baik. (Stevens, 2010)

Sifat fungsional gelatin dapat di bagi menjadi dua grup. Pertama memiliki sifat yang diasosiasikan dengan gel, seperti, kekuatan gel, *gelling time*, pengaturan temperatur dan temperatur leleh dan viskositas. Grup kedua berhubungan dengan perilaku gelatin pada permukaan. Sifat dari grup ini antara lain, formasi dan stabilitas dari busa dan emulsi, sifat adhesifnya dan perilaku pemutusan. Sifat yang paling penting dan merupakan tipikal dari gelatin adalah :

Sifat yang berhubungan dengan *gelling* :

- *Gel formation*
- *Texturizing*
- *Thickening*
- *Water binding*

Surface effect :

- *Emulsion formation and stabilization*
- *Protective colloid function*
- *Foam formation and stabilization*
- *Film formation*
- *Adhesion/cohesion*

(Schrieber, 2007)

2.7.1 Proses Manufaktur

2.7.1.1 Raw Material

Gelatin didapatkan dari proses hidrolisis kolagen yang terkandung dalam jaringan penghubung hewan. Secara komersial, kulit atau tulang dari spesies hewan yang berbeda, seperti sapi, babi, ikan dan unggas. Kulit dapat dibekukan jika terdapat waktu jeda yang cukup lama antara proses pengambilan bahan dengan proses produksinya. Beberapa *raw material*, terutama tulang, di



pretreatment dengan cara *grinding*, *degreasing* dan *drying* sebelum digunakan dalam produksi gelatin. (Stevens, 2010)

2.7.1.2 Proses Produksi

Langkah pertama dalam proses produksi adalah dengan mereduksi ukuran dari raw material, jika diperlukan, dengan memotong atau pengasahan. Untuk tulang, proses pengasahan dilakukan sebelum proses *degreasing* untuk mendapatkan keping tulang yang berukuran antara 2-25 mm. kulit direduksi menjadi berukuran 30-150 mm. kotoran dan hasil potongan dari raw material kemudian dicuci dengan air bersih selama beberapa jam sebelum dilakukan proses perlakuan selanjutnya. Untuk tulang, pencucian ini dilakukan setelah proses *degreasing*. Keping tulang yang telah melalui proses *degreasing* diberi perlakuan dengan menggunakan asam hidroklorida untuk menghilangkan bahan mineral, kalsium fosfat, yang berada di dalam tulang. Pada akhir proses ini hanya akan terdapat bahan organik yang mengandung gelatin, yang dinamakan “ossein”. (Stevens, 2010)

2.7.1.3 Pretreatment

Persiapan industrial dari gelatin meliputi proses hidrolisis yang terkendali dari struktur kolagen yang terorganisir untuk mendapatkan gelatin yang dapat larut. Hal ini dapat dilakukan dengan proses alkali atau proses asam.

Terdapat dua proses *pretreatment* yang biasa dilakukan untuk memproduksi gelatin, yaitu :

- Proses alkali. Tulang yang telah di demineralisasi (*ossein*) atau kulit diimersi dalam alkali (biasanya kapur atau dalam beberapa kasus, larutan natrium hidroksida) untuk beberapa minggu dalam temperatur tertentu. (Poppe, 1992)

Proses perlakuan raw material dengan proses ini bergantung kepada jenis alkali dan konsentrasi yang digunakan, perlakuan ini memerlukan waktu mulai dari



30 hari sampai lebih dari 70 hari pada temperatur yang telah ditentukan, yang normalnya kurang dari 18°C. Setelah mendapatkan *pretreatment* kimia, *raw material* di cuci untuk menghilangkan asam atau alkali yang berlebih dan mengatur pH untuk proses ekstraksi. Setelah pengaturan pH dilakukan, raw material diletakkan dalam *cooking tank* yang berisi air panas, untuk dilakukan *batch extraction*, untuk membuat gelatin menjadi bersifat dapat larut. Dalam proses *batch*, ekstrak yang berbeda dihilangkan bersamaan dengan kenaikan temperatur secara drastis, dari 50°C ke 90°C selama 3-6 jam. (Stevens, 2010)

- *Pretreatment* secara asam pada kulit atau tulang diakibatkan oleh penambahan *raw material* ke dalam larutan asam pada temperatur tertentu. Waktu dan konsentrasi pengasaman pada asam bervariasi bergantung kepada jenis material yang digunakan. Jenis asam yang mungkin digunakan dalam proses ini adalah, asam hidroklorida, asam fosfor, asam sulfur atau bahkan asam organik. (Stevens, 2010)

Dalam proses ini raw material yang telah dicuci direndam dalam *bath* asam encer yang mengandung maksimal 5% mineral asam seperti asam hidroklorida, asam sulfur atau asam fosfor. Besar pH yang digunakan bervariasi dari 3,5-4,5 dan temperatur maksimal adalah 15°C. *Pretreatment* asam dihentikan ketika raw material telah terasami secara keseluruhan atau telah mengembang secara maksimal. Pada akhir dari proses ini, kelebihan asam dihilangkan dan raw material yang telah di proses asam, di cuci dengan air dingin. (Poppe, 1992)

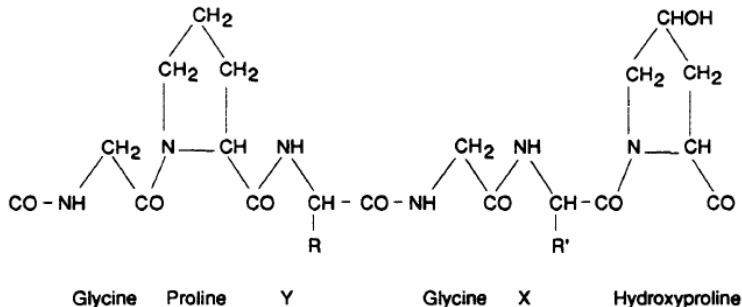
2.7.2 Komposisi

Asam amino dihubungkan bersama dalam gelatin oleh ikatan peptida, rangkaian untuk gelatin adalah :



Gly-X-Y

Di mana X adalah prolin dan Y adalah hidroksiprolin. Struktur ini ditunjukkan pada gambar di bawah :



Gambar 2.5 Konfigurasi Kimia Gelatin

Ikatan peptida yang berbeda dihasilkan dalam konfigurasi spasial yang dapat dibandingkan dengan konfigurasi asam amino dalam kolagen. Tentunya ini sangat tidak mungkin jika pengaturan ulang suatu substansi kimia terjadi selama transformasi kolagen-gelatin. (Imeson, 1992)

2.7.3 Mekanisme Gelatinisasi

Gelatin mengembang ketika ditempatkan pada air dingin, menyerap 5-10 kali jumlah air yang terkandung di dalamnya. Ketika dipanaskan sampai temperatur di atas titik lelehnya, gelatin yang telah mengembang larut dan membentuk gel ketika didinginkan. Konversi sol-gel ini dapat kembali ke keadaan semula dan dapat diulang. Karakteristik ini digunakan dalam berbagai bidang. Bahkan gel gelatin mulai meleleh antara 27° - 34° C.

Mekanisme dasar dari gelatinisasi gelatin, yang saat ini diterima dengan baik adalah *random coil-helix reversion* (Djabourov, 1989). Bagian asam amino yang kaya akan rantai polipeptida yang berbeda mengadopsi konformasi heliks dalam keadaan dingin dan heliks tersebut distabilkan oleh ikatan hidrogen yang memberikan gel tiga dimensi. Gelatinisasi gelatin



dapat digolongkan sebagai reformasi parsial dari kolagen dan bagian yang direformasi tersebut berperan sebagai zona pertemuan gel. (Ledward, 1990)

2.7.4 Struktur Gelatin dalam Gel

Meskipun pada temperatur diatas 35-40°C gelatin dalam larutan memiliki perilaku sebagai *random coils*, yang dapat mengambil konfigurasi sementara, pada keadaan dingin agregasi larutan terjadi dan pada konsentrasi diatas 1%, bergantung pada kualitas dari gelatin dan pH, gel yang transparan dan bersih akan terbentuk. Tidak seperti gel protein dan polisakarida, gel gelatin merupakan gel yang *thermoreversible* setelah mengalami pemanasan sampai temperatur 35-40°C gel tersebut akan larut.

Secara umum telah diketahui bahwa area yang kaya *pyrrolidine* pada rantai gelatin berperan sebagai tempat nukleasi untuk formasi dari *potential junction zones*, saat temperatur diturunkan pada area tersebut, terutama yang memiliki urutan *glycine-proline-proline* (atau *hydroxyproline*) cenderung mengambil *proline-L-proline II helix* dan agregasi dari tiga heliks tersebut akan membentuk collagen-seperti *triple helix* yang berperan sebagai *gel junction points* atau *zones*. *Junction zones* tersebut distabilkan dengan ikatan *inter chain hydrogen*, yang menjadi temperatur sensitif perubahan pada 35-40°C menyebabkan gel meleleh.

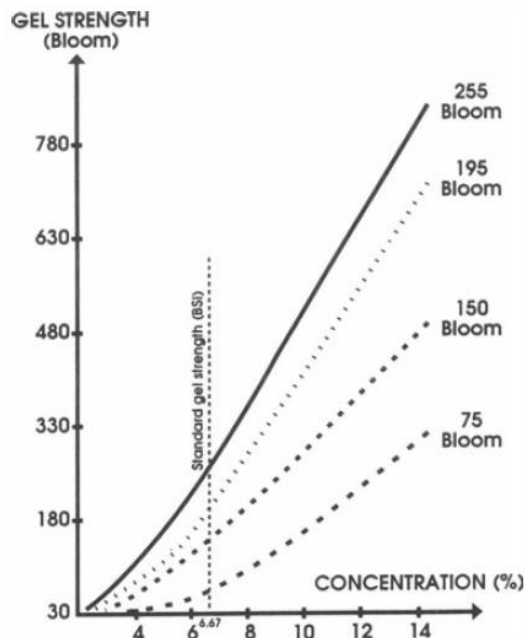
Pada keadaan normal, gel gelatin akan matang pada temperatur tinggi, hanya sedikit *collagen-like junction* akan membentuk dan sisa dari setiap rantai polipeptida akan acak dan gel yang lemah akan terbentuk. Pada pendinginan yang lebih lanjut dari gel, bagian tambahan dari setiap rantai menjadi teratur, baik melalui pertumbuhan dari *junction* yang telah ada atau dari formasi yang baru, tetapi semakin tidak stabil *junction* dari area yang mengandung residu *pyrrolidine* yang lebih rendah. (Ledward, 2000)



2.7.5 Kekuatan Gel

Kemampuan untuk membentuk gel tidak diragukan lagi merupakan salah satu hal terpenting dari sifat gelatin. Kebutuhan untuk mendefinisikan dan mengevaluasi karakteristik dari gel telah dihasilkan dalam konsep kekuatan gel. Kekuatan gel, menurut definisi, berat dalam gram yang dibutuhkan untuk aplikasi pada permukaan gel.

Metode standar untuk menentukan kekuatan gel didasarkan pada penggunaan *bloom meter* yang dideskripsikan oleh British Standards Institute. Kekuatan gel bergantung pada konsentrasi gelatin, seperti terlihat pada gambar di bawah:



Gambar 2.6 Kekuatan Gelatin sebagai Fungsi Konsentrasi



Produk komersial memiliki kekuatan gel (*bloom strength*) antara 50 dan 300 bloom (gram) untuk 6,67% konsentrasi gelatin yang akan meningkat seiring waktu bersama dengan gel “dewasa”, dan berbanding terbalik dengan temperatur. (Imeson, 1992)

2.8 Elektrolit Gel

Proses pelapisan dengan elektroplating dilakukan dengan mengalirkan arus pada dua elektroda dalam media larutan elektrolit (*plating bath*). Dalam elektroplating konvensional, arus mengalir dari anoda menuju katoda melalui larutan elektrolit, dimana kedua elektroda terendam dalam larutan elektrolit cair. Untuk memenuhi tuntutan efisiensi bahan, waktu dan biaya tentunya, metoda ini mempunyai kelemahan dalam beberapa kasus, yakni pelapisan untuk benda-benda dengan permukaan yang sempit atau untuk pelapisan untuk benda dengan jumlah sedikit serta pelapisan pada bagian tertentu dari benda kerja (*partial plating*). Sehingga perlu dilakukan metode alternatif dalam melakukan elektroplating

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan menginovasi larutan elektrolit agar konsumsi akan elektrolit sebagai penghantar arus listrik dan juga sebagai sumber kation pada elektroplating dapat ditekan. Inovasi tersebut salah satunya dapat dilakukan dengan merubah larutan cair menjadi larutan dalam wujud gel (*gel electrolyte*)

Prinsip dari perubahan ini adalah perubahan fase cair menjadi fase gel. Secara kimia hal ini dapat dilakukan dengan penambahan suatu zat aditif ke dalam larutan cair. Namun penambahan zat aditif ini tidak akan mempengaruhi reaksi – reaksi kimia yang terjadi di dalam larutan tersebut. Gelatin adalah contoh yang sesuai untuk ditambahkan kedalam larutan elektrolit pada elektroplating.

Dengan elektrolit gel, proses elektroplating dapat dengan mudah dilakukan. Berbeda dengan elektroplating konvensional, benda kerja tidak dicelupkan ke dalam elektrolit, melainkan



dipoles pada bagian yang ingin dilapis. Proses ini mirip dengan proses mengecat, namun tetap menggunakan proses elektroplating. (Diyatmika, 2009)

2.9 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon yang juga mengandung mangan dan beberapa variasi elemen sisa, seperti, belerang, fosfor dan silikon. Elemen-elemen sisa ini juga terdapat pada *raw material* atau ditambahkan selama proses produksinya untuk keperluan tertentu, seperti penambahan silikon untuk keperluan deoksidasi. Unsur-unsur tersebut dinamakan elemen sisa karena untuk membedakan unsur-unsur tersebut dari elemen paduan yang memang sengaja ditambahkan dengan jumlah tertentu. AISI telah mendefinisikan baja karbon sebagai paduan dari besi dan karbon yang mengandung mangan maksimum 1,65 wt%, Si kurang dari 0,6 wt%, Cu kurang dari 0,6 wt% dan tidak memiliki unsur campuran lain lagi. Umumnya juga ditambahkan belerang dan fosfor dengan kandungan maksimal 0,05 wt%.

Pada sistem SAE/AISI, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut :

- *Nonsulfurized carbon steels, 10xx series*
- *Resulfurized steels, 11xx series*
- *Rephosphorized and resulfurized steels, 12xx series*
- *High manganese carbon steels, 15xx series*

Sistem numerasi kombinasi SAE/AISI menggunakan kode numerik yang diawali dengan 10xx atau 10xxx untuk baja karbon. Sistem penomoran baru yang digunakan untuk baja karbon memiliki kode numeric G 10xxx. Pada kedua sistem tersebut, angka 10 mengindikasikan bahwa baja tersebut merupakan baja karbon, sedangkan “xxx” mengindikasikan kandungan nominal karbon dengan skala poin (1 poin = 0,01% C).

Faktor utama yang mempengaruhi sifat dari baja karbon adalah kandungan karbon dan mikrostruktur, secara mayoritas



mikrostruktur dari baja karbon ditentukan oleh komposisi dan perlakuan akhir yang dialaminya. Peningkatan kandungan karbon pada komposisi baja akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan, di sisi lain keuletan dan ketangguhannya akan menurun.

(Campbell, 2008)

2.9.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 %, merupakan jenis baja yang paling banyak diproduksi. Digunakan pada keperluan structural seperti bangunan dan jembatan, dan bentuk platnya digunakan untuk pipa sampai keperluan otomotif dalam bentuk plat. Kebutuhan akan baja saat ini adalah baja dengan sifat *formability*, *weldability*, kekuatan dan *fracture resistance* yang baik. Tren yang belakangan ini terjadi pada baja adalah untuk menghasilkan baja dengan kekuatan lebih tinggi dengan cara menurunkan kandungan karbon untuk meningkatkan *formability*, *weldability* dan *fracture resistance*.

Ciri khas mikrostruktur dari baja karbon rendah yang mengalami proses *hor-rolled* adalah mengandung ferit sebagai mikrokustituen terbanyak. Karena ferit memiliki tingkat kekuatan yang rendah, maka digunakan penambahan paduan dan perlakuan yang berbeda untuk meningkatkan kekuatannya. Pemaduan dan pemrosesan dapat digunakan untuk memperhalus ukuran butir ferit, yang akan meningkatkan kekuatan, *formability* dan *fracture resistance*. (Campbell, 2008)

2.9.3 Baja Karbon Menengah

Baja dengan kandungan karbon 0,3 sampai 0,6 % digunakan pada aplikasi di mana dibutuhkan sifat mekanik yang tinggi. Baja jenis ini biasanya dikeraskan dengan cara *quench* dan *temper heat treatment* atau dengan *cold working*. Peningkatan dalam sifat mekanik, ketebalan atau kedalaman pengerasan biasanya dibutuhkan kandungan yang lebih tinggi dari karbon,



mangan atau keduanya. Baja tersebut juga dapat dikeraskan dengan cara *flame* atau *induction heat treatment*. (Campbell, 2008)

2.9.3 Baja Karbon Tinggi

Baja dengan kandungan karbon antara 0,6 sampai 1% digunakan untuk aplikasi di mana kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang tinggi diperlukan secara bersamaan. Secara umum, *cold forming* tidak digunakan, dan memiliki *weldability* yang rendah. Secara praktik, semua baja karbon tinggi dikeraskan dengan cara *quenching* dan *tempering*. *Ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh baja karbon tinggi berkisar antara 620 sampai 869 MPa (90 sampai 126 ksi), sedangkan rentang elongasi antara 9 sampai 25%. Dalam banyak kasus, baja karbon tinggi mengalami *heat treatment* dengan *quenching* dan *tempering* menggunakan oli. *Quenching* dengan menggunakan air digunakan untuk bagian yang lebih keras atau saat pemotongan bagian tepi diperlukan. Karena ketahanan ausnya yang baik saat mengalami *heat treatment*, baja karbon tinggi biasa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus dan abrasi yang tinggi.

(Campbell, 2008)

2.10 Anoda Tak Terlarut

Anoda tak terlarut sering digunakan dalam praktik plating biasa untuk deposisi logam tunggal. Dalam beberapa kejadian adanya anoda tak terlarut ini sangat dibutuhkan, karena : (a) logam tidak terkorosi secara anodic, seperti pada rhodium; (b) anoda murni logam mungkin tidak tersedia secara komersial, seperti contohnya, krom; anoda tersebut mungkin tidak memiliki kekuatan yang memadai, sebagai contoh mangan. Dalam kejadian yang lain, anoda tak terlarut digunakan karena anoda tersebut memiliki manfaat tertentu, sebagai contoh, anoda tersebut menghasilkan partikel tersuspensi yang lebih sedikit dalam *bath* dibandingkan dengan anoda terlarut dan berfungsi sebagai anoda



internal, selama anoda tersebut dapat mempertahankan dimensinya. Anoda tak terlarut mungkin saja digunakan untuk paduan dalam proses plating maupun untuk deposisi dari logam tunggal.

Kerugian dari penggunaan anoda tak terlarut adalah komposisi dari *bath* mungkin berbeda satu atau lebih dari perubahan yang terjadi di bawah ini :

1. Konsentrasi dari logam yang akan didepositkan menurun
2. pH dari *bath* menurun
3. Unsur-unsur dalam *bath* teroksidasi

(Brenner, 1963)

2.11 Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit, *Gelling Agent* dan pH

Penelitian sebelumnya mengenai elektrolit gel telah dilakukan oleh Masayuki Itagaki pada tahun 2003 dengan menggunakan elektrolit berupa tembaga sulfat (CuSO_4), penelitian ini lebih menitikberatkan pada persiapan untuk pembuatan elektrolit dan perilaku elektrokimia dari endapan tembaga pada benda kerja. Penelitian tersebut menggunakan pH larutan elektrolit CuSO_4 , konsentrasi larutan elektrolit CuSO_4 dan *gelling agent* yang berbeda untuk dapat membuat larutan elektrolit CuSO_4 menjadi berbentuk gel. Pada percobaan pertama digunakan *gelling agent* berupa gelatin dengan komposisi sebesar 5% dan temperatur 0°C , hasil yang didapatkan dari percobaan pertama adalah sebagai berikut :



Tabel 2.5 Pengaruh Gelatin 5% terhadap pH dan Konsentrasi Elektrolit

Concentration of CuSO_4	pH 4	pH 3	pH 2	pH 1
0.01 mol/dm ³	O	O	O	O
0.1 mol/dm ³	O	O	O	O
1 mol/dm ³	O	O	O	X

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa, satu-satunya saat larutan elektrolit tidak dapat berubah menjadi gel adalah saat pH 1 dan konsentrasi CuSO_4 1 mol/dm³. Selain menggunakan gelatin, digunakan juga agar-agar sebagai *gelling agent* untuk mengubah larutan elektrolit menjadi berbentuk gel. Untuk *gelling agent* menggunakan agar-agar ini digunakan komposisi agar-agar sebesar 3% dan temperatur 0°C, hasil yang didapatkan dari *gelling agent* berupa agar-agar adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6 Pengaruh Agar-agar 3% terhadap pH dan Konsentrasi Elektrolit

Concentration of CuSO_4	pH 4	pH 3	pH 2	pH 1
0.01 mol/dm ³	O	O	O	X
0.1 mol/dm ³	O	O	O	X
0.5 mol/dm ³	O	O	X	X
0.6 mol/dm ³	X	X	X	X

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa cukup banyak keadaan di mana larutan elektrolit CuSO_4 tidak dapat berubah menjadi bentuk gel, terutama pada pH 1 dan konsentrasi CuSO_4 sebesar 0,6 mol/dm³. Dari dua percobaan di atas maka didapatkan hasil terbaik untuk dapat mengubah larutan elektrolit menjadi



berbentuk gel untuk bisa membuat elektrolit gel. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.7 Hasil Maksimal yang Didapatkan untuk Mengubah Larutan Elektrolit CuSO_4 Menjadi Bentuk Gel

Concentration of CuSO_4	1 mol/dm ³ or less
pH	2 or more
Concentration of gelatin	5% or more
Dissolution temperature of gelatin	60°C
Cooling temperature	0°C
Cooling time	30 min

(Itagaki et al, 2003)

2.12 Komposisi Asam Kromat (H_2CrO_4) dalam Pembuatan Elektrolit

Komposisi dari larutan asam kromat yang telah dikatalisasi oleh sulfat dapat bervariasi secara luas, diberikan rasio oleh berat dari asam kromat dengan sulfat radikal memiliki kisaran antara 75 dan 120 berbanding dengan 1. Tenaga dorong atau distribusi, memiliki nilai optimal pada rasio antara 90 dan 110 berbanding dengan 1; sementara itu, pada kisaran antara 75 dan 90 berbanding dengan 1, didapatkan deposit dengan warna yang lebih terang, terjadi pembakaran yang lebih kecil dan arus listrik yang lebih tinggi dapat digunakan. Larutan yang mengandung asam kromat dengan konsentrasi serendah 50 g/L telah diteliti namun tidak cocok digunakan untuk kepentingan produksi karena :

- *Plating range* yang terlalu terbatas
- Larutan yang lebih sensitif terhadap kontaminan
- Memiliki resistansi listrik yang lebih tinggi
- Membutuhkan voltase listrik yang lebih tinggi untuk dapat dioperasikan



Komposisi dan kondisi operasi untuk dua jenis larutan asam kromat/sulfat (konsentrasi rendah dan tinggi) untuk *hard chrom plating* diperlihatkan pada Tabel 2.8 berikut. Larutan dengan konsentrasi rendah secara luas digunakan untuk *hard chrom plating* karena larutan ini meminimalkan terjadinya cacat dan ramah lingkungan. Larutan dengan konsentrasi tinggi memiliki keunggulan, yaitu tidak terlalu sensitif dengan perubahan konsentrasi; larutan ini juga lebih mudah dikontrol dan memiliki daya dorong yang lebih baik. Karena larutan konsentrasi tinggi lebih konduktif, larutan ini bisa dioperasikan pada voltase yang lebih rendah dan membutuhkan pemanasan yang lebih rendah dalam operasinya.

Tabel 2.8 Sulfate bath for hard chromium plating

Type of bath	Chromic acid ^(a)		Sulfate ^(a)		Current density		Bath temperature	
	g/L	oz/gal	g/L	oz/gal	A/dm ²	A/in. ²	°C	°F
Low concentration	250	33	2.5	0.33	31-62	2-4	52-63	125-145
High concentration	400	53	4.0	0.53	16-54	1-3.5	43-63	110-145

(ASM Metal Handbook Volume 5, 1994)

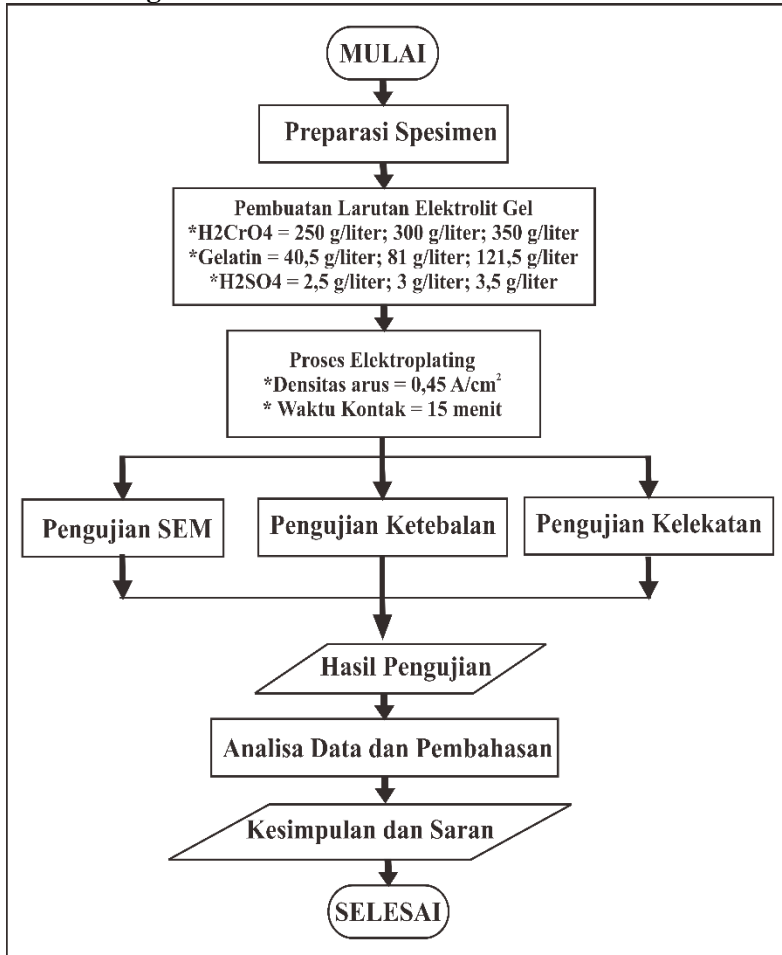


(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Alat dan Bahan Percobaan

3.2.1 Bahan Percobaan

Bahan – bahan yang diperlukan dalam percobaan ini antara lain:

1. Spesimen : baja sebagai katoda
2. Anoda : timbal
3. Asam kromat (H_2CrO_4)
4. Gelatin
5. Aquades
6. Spiritus
7. Kain Kasa
8. Asam sulfat (H_2SO_4)
9. Natrium hidroksida (NaOH)

3.2.2 Peralatan Percobaan

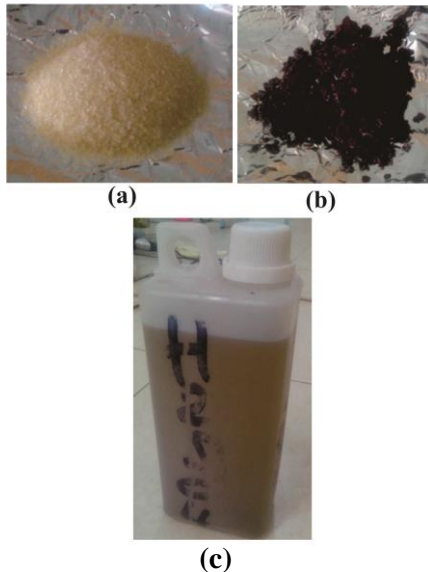
Berikut ini adalah peralatan yang dibutuhkan dalam percobaan :

1. Adaptor
2. Jepit buaya
3. *Magnetic stirrer*
4. *Stir bar*
5. Gelas beker
6. Gelas ukur
7. *Hair drier*
8. Tang penjepit
9. Sendok
10. Gergaji besi manual
11. Thermometer
12. Spatula
13. Sarung tangan
14. *Stopwatch*
15. Kamera digital
16. Alat uji ketebalan (MiniTest 600)
17. Kertas Ph

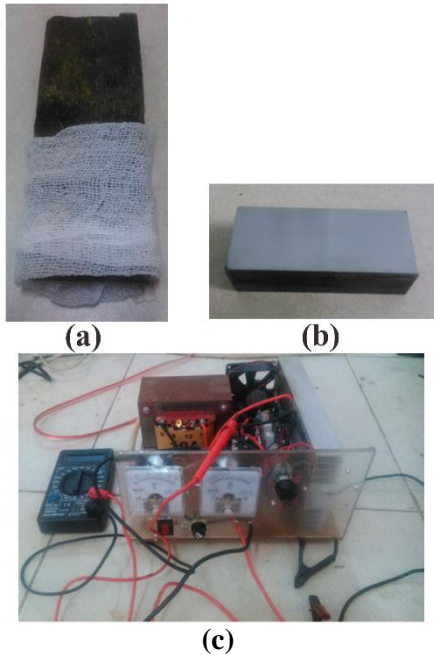


18. Neraca analitik (Sartorius BP 110 S)
19. Alat uji kelekatan (PosiTest AT-M)
20. Kertas amplas
21. Tissue
22. Aluminium foil
23. SEM

Bahan-bahan percobaan yang digunakan untuk membuat larutan elektrolit dapat dilihat pada Gambar 3.2, dan alat-alat yang digunakan pada proses elektroplating dapat dilihat pada Gambar 3.3

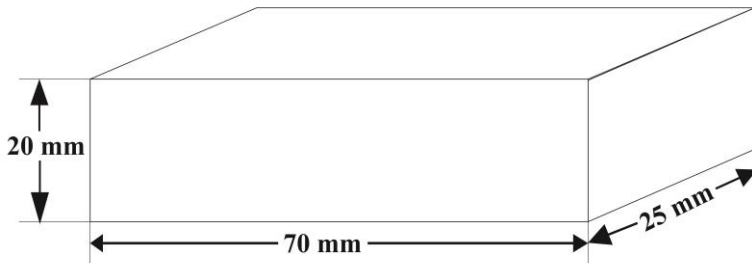


**Gambar 3.2 Bahan-bahan Pembuatan Elektrolit Gel : (a) Gelatin;
(b) Asam Kromat; (c) Asam Sulfat**



Gambar 3.3 Alat-Alat Percobaan : (a) Anoda Timbal yang Dililit Kain Kasa. (b) Baja sebagai Katoda, (c) Adaptor + Amperemeter + Voltmeter + Jepit Buaya

Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja. Dimensi spesimen uji untuk penelitian ini adalah, panjang 70 mm, lebar 25 mm dan tebal 20 mm, ditunjukkan oleh Gambar 3.4



Gambar 3.4 Dimensi Spesimen Uji

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Preparasi Spesimen

Preparasi spesimen bertujuan untuk membersihkan spesimen dari kotoran, karat/oksida, dan minyak yang melekat pada permukaan sehingga proses elektroplating pada spesimen dapat berlangsung dengan baik dan deposit lapisan hasil elektroplating dapat menempel dengan baik.

Preparasi spesimen dilakukan dalam beberapa tahapan berikut

1. Pembersihan permukaan spesimen uji dari kotoran dan minyak dilakukan dengan merendam spesimen uji dalam larutan NaOH kadar 5-10%. Lama perendaman antara 10 – 20 menit, tergantung pada banyaknya kotoran yang menempel pada material.
2. Pembersihan spesimen uji dari scale dilakukan dengan merendam pada larutan pickling H_2SO_4 kadar 5 – 15%. Penggunaan larutan pickling H_2SO_4 dengan kadar 5% akan mengurangi adanya overpickling, sedang lamanya waktu pickling tergantung dengan tebalnya lapisan scale pada material dan kadar dari larutan pickling
3. Pembersihan permukaan spesimen uji dari sisa – sisa asam sulfat setelah dilakukan proses pickling. Dilakukan dengan merendam spesimen dalam larutan air sabun sehingga terjadi proses penetralan asam oleh sabun dengan temperatur $\pm 50^\circ C$.



4. Setelah dilakukan pencucian dengan air sabun maka selanjutnya pencucian terakhir pada spesimen uji dengan air bersih sehingga air sabun yang masih menempel pada permukaan spesimen terbilas sampai bersih.
5. Setelah spesimen dibersihkan dari kotoran kemudian dikeringkan dengan *hair drier*. Hal ini bertujuan untuk menguapkan semua cairan yang masih tersisa setelah proses pencucian spesimen.
6. Setelah spesimen bersih dan kering, selanjutnya spesimen diampelas dengan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan kerak yang masih tersisa pada permukaan spesimen sekaligus untuk meratakan permukaan spesimen agar didapat hasil plating yang baik.
7. Kemudian spesimen ditimbang beratnya dengan menggunakan neraca analitik.

Preparasi awal spesimen merupakan hal yang sangat penting karena dapat mempengaruhi kualitas elektroplating yang akan dilakukan kepada spesimen pada proses selanjutnya. Semakin baik preparasi awal spesimen uji, maka kualitas elektroplating yang melekat pada spesimen tersebut akan semakin baik, begitu pula sebaliknya. Pada penelitian ini, pengamplasan dilakukan dengan menggunakan amplas grade 80 dan grade 180 untuk meratakan permukaan spesimen.

3.3.2 Preparasi Elektrolit Gel H_2CrO_4

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi asam kromat (H_2CrO_4) dan gelatin dalam elektrolit gel terhadap ketebalan lapisan dan kualitas krom, sehingga dalam pembuatan elektrolit gel dari larutan elektrolit asam kromat diberikan variabel berupa konsentrasi asam kromat dan gelatin dalam pembuatan larutan elektrolit dengan komposisi elektrolit gel terlihat pada Tabel 3.1



Tabel 3.1 Komposisi Pembuatan Elektrolit Gel

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (%)	Konsentrasi H_2SO_4 (g/liter)	Volume Aquades (ml)
250	40,5	3	2,5	718,64
250	81	6	2,5	701,64
250	121,5	9	2,5	658,64
300	40,5	3	3	668,64
300	81	6	3	638,64
300	121,5	9	3	608,64
350	40,5	3	3,5	618,64
350	81	6	3,5	588,64
350	121,5	9	3,5	558,64

Elektrolit gel asam kromat dibuat seperti pembuatan larutan elektrolit biasa, hanya saja pada penelitian ini ditambah dengan gelatin sebagai *gelling agent*. Penambahan gelatin sebagai *gelling agent* ini diharapkan dapat mengubah larutan elektrolit yang semula memiliki fase cair menjadi fase gel, sehingga penggunaannya akan lebih praktis.

3.3.3 Pembuatan Elektrolit Gel

Proses pembuatan elektrolit gel didasarkan penelitian yang dilakukan oleh Masayuki Itagaki pada tahun 2003. Pada penelitian ini, Itagaki menggunakan bahan utama berupa tembaga sulfat (CuSO_4) sebagai bahan pembuat larutan elektrolit dan menggunakan *gelling agent* yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang terbaik dalam pembuatan elektrolit gel. Menurut hasil penelitian yang dilakukan Itagaki ini, *gelling agent* terbaik yang bisa digunakan untuk membuat elektrolit gel adalah gelatin, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.7

Pembuatan elektrolit gel asam kromat dilakukan dengan persiapan bahan-bahan dan peralatan berupa asam kromat, gelatin,



asam sulfat, aquades, gelas beker, *magnetic stirrer*, *stir bar*, termometer dan neraca analitik. Pembuatan elektrolit gel dilakukan dengan membuat dua bagian larutan yang berbeda, satu larutan berupa campuran 40% aquades + gelatin sesuai variabel konsentrasi, dan larutan kedua berupa campuran 60% aquades + asam kromat sesuai variabel konsentrasi + asam sulfat sebagai katalis. Pertama-tama dilakukan penimbangan terhadap asam kromat sesuai masing-masing variabel yang ada menggunakan neraca analitik, kemudian asam kromat dimasukkan ke dalam aquades yang telah dipanaskan hingga mencapai temperatur 45°C menggunakan *magnetic stirrer*. Selama melakukan pencampuran aquades dengan asam kromat, perlu dilakukan pengadukan agar didapatkan larutan asam kromat yang homogen menggunakan *magnetic stirrer* dan *stir bar*. Kemudian ditambahkan asam sulfat sebagai katalis yang akan mempercepat proses deposit krom pada spesimen selama proses elektroplating.

Setelah larutan asam kromat selesai dibuat, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan larutan kedua yaitu campuran 40% aquades + gelatin. Proses pembuatan larutan kedua dilakukan dengan penimbangan gelatin sesuai masing-masing variabel yang ada menggunakan neraca analitik, kemudian gelatin yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam aquades yang telah dipanaskan dengan temperatur 45°C menggunakan *magnetic stirrer*. Selama proses pencampuran aquades dengan gelatin ini juga dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* agar didapatkan hasil yang homogen.

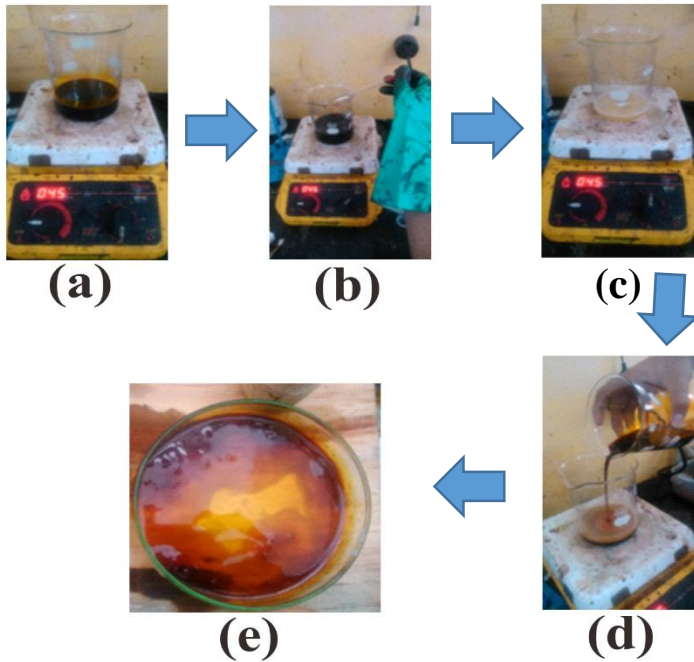
Setelah larutan aquades dan gelatin mencapai homogen, pengadukan dihentikan dan larutan tersebut dimasukkan ke dalam kulkas untuk didinginkan selama ± 15 menit dengan temperatur 5°C sampai larutan tersebut mengalami pengentalan. Namun jangan sampai larutan menjadi terlalu padat, karena jika sampai larutan menjadi terlalu padat, maka larutan ini tidak akan bisa dicampur dengan larutan asam kromat. Setelah larutan gelatin



cukup mengental, kemudian larutan ini dicampur dengan larutan asam kromat sampai kedua larutan menjadi homogen.

Campuran kedua larutan yang telah homogen kemudian dimasukkan kembali ke dalam kulkas untuk kembali didinginkan selama ± 15 menit dengan temperatur 0°C sampai larutan tersebut menjadi gel. Gel yang dihasilkan dari proses pembuatan ini berjumlah sedikit dan berada di dasar dari gelas beker, sehingga perlu dilakukan proses pembuatan berulang kali agar didapatkan jumlah yang sesuai untuk melakukan proses elektroplating. Setelah didapatkan jumlah yang sesuai, kemudian elektrolit tersebut telah siap untuk digunakan dalam proses elektroplating.

Perlu diperhatikan bahwa waktu dan temperatur dalam proses pembuatan elektrolit gel ini sangat sensitif, sehingga sangat diperlukan ketepatan dalam hal waktu pemanasan, waktu pendinginan, temperatur pemanasan dan temperatur pendinginan agar elektrolit gel ini dapat terbentuk. Proses pembuatan elektrolit gel dapat dilihat pada Gambar 3.5

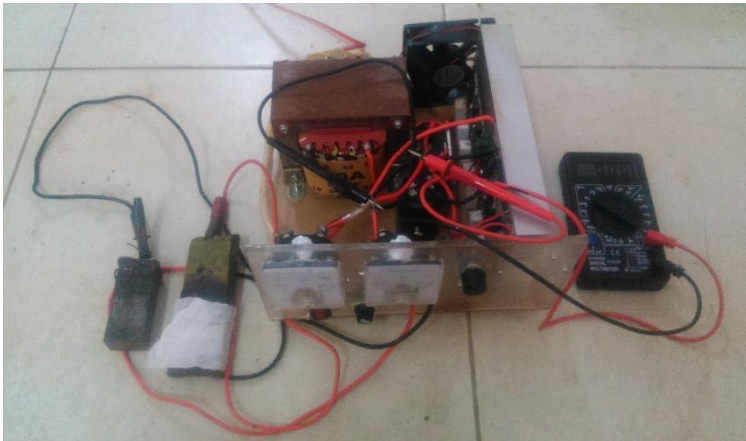


Gambar 3.5 Proses Pembuatan Elektrolit Gel : a) Pembuatan Larutan Asam Kromat, (b) Penambahan Asam Sulfat sebagai Katalis, (c) Pembuatan Larutan Gelatin, (d) Pencampuran Larutan Asam Kromat dan Gelatin, (e) Elektrolit Gel yang Terbentuk



3.3.4 Susunan Rangkaian Elektroplating

Rangkaian untuk melakukan elektroplating menggunakan elektrolit gel disusun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Rangkaian Elektroplating

Pada rangkaian elektroplating ini, kutub positif dari adaptor (penyearah arus) dihubungkan dengan anoda berupa timbal, sedangkan kutub negatif dari adaptor dihubungkan dengan katoda (spesimen uji) berupa baja.

3.4 Proses Elektroplating

Proses elektroplating baja dengan anoda timbal ini menggunakan densitas arus dan waktu kontak efektif sebagai variabel tetap, yaitu :

1. Densitas Arus : $0,45/\text{cm}^2$
2. Waktu Kontak Efektif : 15 menit

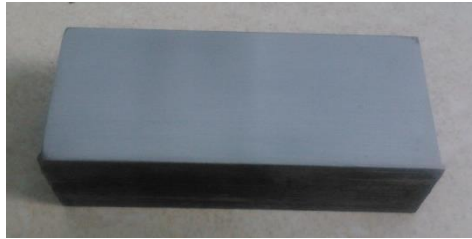
Pada penelitian, ini digunakan anoda dari timbal yang dibungkus dengan kain kasa yang dililitkan pada ujungnya dan diikat dengan benang wol sebagai tempat elektrolit gel menempel,



seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7 (a). Sedangkan katodanya berupa baja ditunjukkan oleh Gambar 3.7 (b)



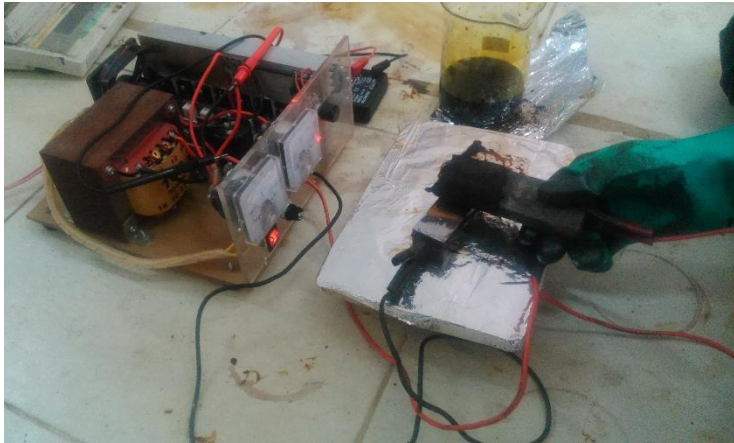
(a)



(b)

Gambar 3.7 (a) Anoda Timbal dengan Kain Kasa; (b) Baja sebagai Katoda

Elektrolit yang digunakan pada proses elektroplating ini adalah asam kromat (H_2CrO_4) yang telah berbentuk gel. Setelah rangkaian elektroplating dan larutan elektrolit gel disiapkan, spesimen uji yaitu Baja siap untuk dielektroplating. Mekanisme dari elektroplatingnya adalah dengan menempelkan elektrolit gel pada kain kasa yang terdapat di ujung anoda kemudian dipoles pada permukaan spesimen uji (katoda) yang akan dilapisi krom. Selama proses ini arus dan tegangan harus diatur sesuai dengan besar yang telah ditentukan dan menjaga agar arus dan tegangan tetap sesuai, karena selama proses elektroplating arus listrik untuk melakukan elektroplating fluktuatif. Mekanisme elektroplating ini mirip dengan mekanisme mengecat. Proses elektroplating dengan elektrolit gel dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Proses Elektroplating dengan Menggunakan Elektrolit Gel

3.5 Uji Deposit Lapisan Spesimen

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap adanya deposit lapisan krom pada permukaan spesimen menggunakan EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), pengujian dilakukan dengan alat uji SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50, alat uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.9.

Pengujian deposit lapisan pada spesimen elektroplating ini dilakukan untuk mengetahui bahwa spesimen yang telah dielektroplating benar-benar memiliki deposit lapisan krom pada permukaannya. Alat uji deposit lapisan ini memiliki standar uji untuk spesimennya dengan dimensi maksimal 1 cm x 1 cm, sehingga baja yang telah dielektroplating perlu dipotong agar sesuai dengan spesimen standar uji yang diperlukan.



Gambar 3.9 Alat Uji Deposit Lapisan Spesimen SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50

Setelah dilakukan pemotongan pada spesimen agar memiliki dimensi seperti standar uji, kemudian spesimen harus dibersihkan dari pengotor-pengotor yang masih menempel pada permukaannya agar didapatkan hasil uji deposit lapisan krom yang baik. Pembersihan ini dilakukan agar hasil pengamatan permukaan spesimen dengan menggunakan SEM dapat menunjukkan deposit lapisan krom yang sebenarnya. Pembersihan permukaan spesimen yang kurang baik akan memperbesar kemungkinan kesalahan pengamatan dari deposit lapisan. Setelah spesimen bersih dari pengotor yang ada di permukaannya, spesimen dapat langsung diuji komposisi dengan menggunakan SEM.

3.6 Pengujian Ketebalan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian ketebalan deposit lapisan krom yang terbentuk setelah proses elektroplating. Pengujian ketebalan deposit lapisan krom dilakukan dengan menggunakan alat uji ketebalan MiniTest 600 yang ditunjukkan oleh Gambar 3.10.

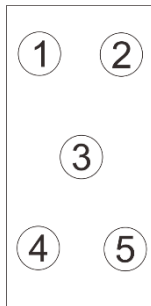


Gambar 3.10 Alat Uji Ketebalan MiniTest 600

Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu alat harus dikalibrasi sesuai dengan yang tertera di dalam buku petunjuk penggunaan alat tersebut agar didapatkan hasil yang akurat dan valid. Pengukuran ketebalan dilakukan pada lima titik masing-masing spesimen, pengukuran lima titik dilakukan agar didapatkan sebaran ketebalan di seluruh permukaan spesimen. Skema pengujian lima titik pada permukaan spesimen dapat dilihat pada Gambar 3.11

Pengukuran ketebalan dilakukan dengan menempelkan secara langsung probe dari alat uji ketebalan terhadap permukaan spesimen hasil *coating* selama beberapa saat sampai terdengar suara penanda pengukuran ketebalan telah selesai dilakukan oleh alat. Setelah terdengar bunyi penanda pengukuran selesai, barulah ketebalan lapisan *coating* terbaca di layar alat.

Setelah didapatkan data ketebalan dari kelima titik tersebut, kemudian dilakukan perhitungan rata-rata ketebalan dari kelima titik tersebut, sehingga didapatkan nilai tengah untuk setiap spesimen. Nilai tengah digunakan untuk menunjukkan



Gambar 3.11 Skema Pengujian Ketebalan pada Lima Titik Spesimen Hasil Elektroplating

ketebalan deposit lapisan secara rata-rata karena ketebalan deposit lapisan di seluruh permukaan spesimen tidak merata.

3.7 Pengujian Kelekatan

Salah satu cara untuk menguji kualitas lapisan *coating* hasil elektroplating adalah dengan menguji kelekatan lapisan *coating* terhadap benda kerja yang dilapisinya. Uji kelekatan lapisan *coating* dapat dilakukan dengan melakukan uji *pull-off* menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, seperti terlihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester



Sebelum melakukan uji kelekatan, spesimen hasil elektroplating perlu dipersiapkan terlebih dahulu sesuai standar spesimen uji *pull-off* yang ada. Pertama-tama spesimen hasil elektroplating harus ditempelkan kepada semacam alat penarik yang berbentuk seperti pion catur yang bernama *DeFelsko dolly*. *DeFelsko dolly* yang digunakan pada pengujian ini memiliki diameter 20 mm. Penempelan spesimen uji kepada alat penarik dilakukan dengan mengelem spesimen uji kepada penarik menggunakan lem epoxy, kemudian lem epoxy dibiarkan mengering. Spesimen uji kelekatan yang telah sesuai dengan standar uji dapat dilihat pada Gambar 3.13



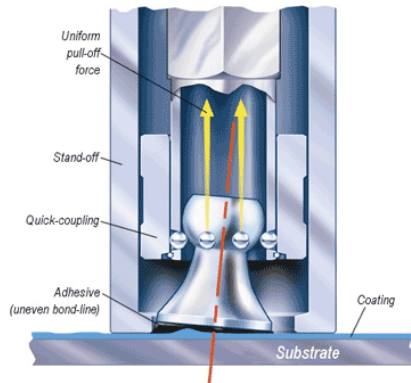
Gambar 3.13 Spesimen Uji Kelekatan

Spesimen yang telah memenuhi standar uji, dapat segera dilakukan *pull-off* dengan alat uji kelekatan. Namun sebelumnya, spesimen harus dibersihkan dari sisa-sisa lem yang menempel melebar disamping alat penarik dengan menggunakan alat *cutting tool* yang berbentuk bulat. Pembersihan lem yang melebar ini bertujuan agar didapatkan hasil pengukuran kelekatan yang valid.

Setelah spesimen bersih dari sisa lem, spesimen uji siap untuk dilakukan uji *pull-off*. Uji *pull-off* dilakukan dengan memasukkan tuas penarik ke dalam alat penarik yang terhubung dengan alat pembaca tekanan. Spesimen perlahan-lahan ditarik sampai lapisan *coating* pada permukaan spesimen mengelupas, kemudian besar kekuatan tarik lapisan hasil elektroplating dibaca



pada alat pengukur tekanan. Skema uji kelekatan pada spesimen seperti terlihat pada Gambar 3.14



Gambar 3.14 Skema Uji Kelekatan Spesimen

3.8 Rancangan Penelitian

Tabel 3.2 Pengukuran Berat Spesimen

Sampel	Berat Sebelum (W_1) (gram)	Berat Setelah (W_2) (gram)	Berat Lapisan ($W_1 - W_2$) (gram)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			



Tabel 3.3 Pengukuran Ketebalan Deposit Lapisan Krom

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (g/liter)	Ketebalan					Rata-rata
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
250	40,5						
300	40,5						
350	40,5						
250	81						
300	81						
350	81						
250	121,5						
300	121,5						
350	121,5						

Tabel 3.4 Pengukuran Nilai Kelekatan Deposit Lapisan Krom

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (g/liter)	Nilai Kelekatan (MPa)
250	40,5	
	81	
	121,5	
300	40,5	
	81	
	121,5	
350	40,5	
	81	
	121,5	



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Pengamatan Makro dan Mikro Spesimen Hasil Elektroplating

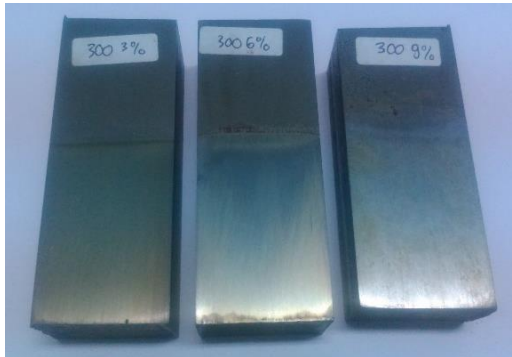
Pengamatan makro pada spesimen hasil elektroplating dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual untuk mengamati perbedaan yang terjadi pada spesimen sebelum dan setelah proses elektroplating menggunakan elektrolit gel. Spesimen sebelum elektroplating dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan spesimen hasil elektroplating dapat dilihat pada Gambar 4.2 (a), (b) dan (c).



Gambar 4.1 Spesimen Sebelum Elektroplating



(a)



(b)



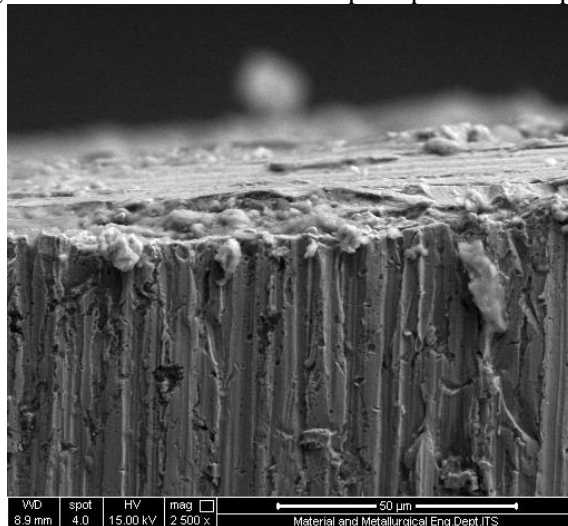
(c)

Gambar 4.2 Spesimen Hasil Elektroplating dengan Berbagai Variabel : (a) Konsentrasi Asam Kromat 250 g/liter, (b) Konsentrasi Asam Kromat 300 g/liter, (c) Konsentrasi Asam Kromat 350 g/liter

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan pada spesimen hasil elektroplating, dapat dilihat bahwa penampilan spesimen sebelum (Gambar 4.1) dan setelah proses elektroplating pada berbagai konsentrasi asam kromat dan gelatin [Gambar 4.2 (a), (b) dan (c)] tidaklah terlalu berbeda, hanya terdapat beberapa spesimen yang terlihat berwarna kecoklatan. Tidak terlihatnya perbedaan pada permukaan spesimen sebelum dan setelah



elektroplating dikarenakan oleh tipisnya deposit lapisan krom yang terbentuk pada permukaan baja. Warna kecoklatan ini merupakan asam kromat yang telah mengering setelah proses elektroplating dan mengalami proses pencucian yang kurang bersih. Pada awal proses elektroplating selesai dilakukan, spesimen akan berwarna kecoklatan pada bagian yang mengalami proses elektroplating. Spesimen yang telah melalui proses elektroplating selanjutnya dicuci dengan air untuk menghilangkan sisa gel yang masih terdapat pada permukaan spesimen hingga bersih. Pencucian dengan menggunakan air ini harus dengan segera dilakukan setelah proses elektroplating selesai dilakukan agar sisa gel yang terdapat pada permukaan spesimen tidak mengering terlebih dahulu dan meninggalkan bekas noda kecoklatan pada permukaan spesimen.



Gambar 4.3 Pengamatan Mikro Permukaan Spesimen Hasil Elektroplating

Pengamatan mikro pada deposit lapisan krom hasil elektroplating dilakukan dengan menggunakan SEM. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat adanya deposit lapisan krom yang



terbentuk pada permukaan lapisan krom setelah mengalami proses elektroplating dengan menggunakan elektrolit gel. Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3. Selain untuk mengamati ada atau tidaknya deposit lapisan krom yang terbentuk pada permukaan spesimen, pengamatan mikro pada permukaan spesimen juga dimaksudkan untuk mengetahui tingkat pemerataan deposit lapisan pada permukaan baja hasil elektroplating. Dari Gambar 4.3 pengamatan mikro pada permukaan spesimen dengan menggunakan SEM tersebut, dapat dilihat bahwa memang terbentuk deposit lapisan krom pada permukaan spesimen, tetapi deposit lapisan krom pada permukaan spesimen yang terbentuk sangatlah tipis dan tidak merata pada seluruh permukaan spesimen.

4.1.2 Pengukuran Berat Deposit Lapisan dan Perhitungan Efisiensi Katoda

Pengukuran berat deposit lapisan krom dilakukan dengan dua cara, yaitu perhitungan secara teoritis dan pengukuran secara aktual. Pengukuran berat deposit lapisan bertujuan untuk mengetahui berapa banyak deposit lapisan yang terbentuk dari proses elektroplating, dan juga bertujuan untuk mengetahui efisiensi katoda yang digunakan selama proses elektroplating. Hasil pengukuran berat deposit lapisan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Dari tabel di atas dapat terlihat bahwa berat deposit akan berbanding lurus dengan ketebalan deposit lapisan yang terbentuk pada permukaan spesimen. Pengukuran berat aktual dilakukan sebelum dan setelah proses plating untuk mengetahui berat deposit asli, sedangkan berat secara teoritis didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus dari Hukum Faraday.

Perhitungan berat ini dilakukan pada semua spesimen hasil elektroplating untuk mengetahui beratnya secara teoritis dan membandingkannya dengan berat aktual yang didapatkan dari hasil pengukuran secara langsung. Dari Tabel 4.1 didapatkan nilai berat teoritis yang sama untuk semua spesimen, hal ini dikarenakan pada



penelitian ini waktu pelapisan dan arus yang digunakan selama pelapisan merupakan variabel terikat yang telah ditentukan dan tidak divariabelkan.

Tabel 4.1 Berat Deposit Spesimen Secara Aktual dan Teoritis

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (g/liter)	Berat Deposit Aktual(gr)	Berat Deposit Teoritis(gr)
250	40,5	0.0359	0.7269
250	81	0.0317	0.7269
250	121,5	0.0316	0.7269
300	40,5	0.0417	0.7269
300	81	0.0374	0.7269
300	121,5	0.0331	0.7269
350	40,5	0.0503	0.7269
350	81	0.0374	0.7269
350	121,5	0.0302	0.7269

Setelah didapatkan data berat aktual dan berat teoritis dari deposit lapisan krom setelah elektroplating, maka dapat dilakukan perhitungan terhadap efisiensi katoda pada proses elektroplating ini. Perhitungan efisiensi katoda dilakukan untuk mengetahui apakah semua arus yang masuk

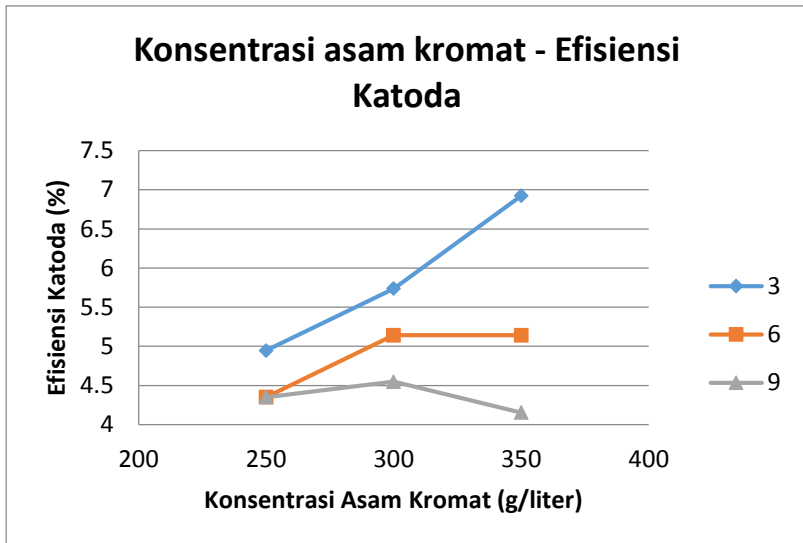
Perhitungan efisiensi katoda dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi proses pelapisan yang dilakukan pada penelitian ini. Semakin efisien proses pelapisan yang dilakukan, maka akan didapatkan ketebalan lapisan yang semakin tinggi, sehingga berat deposit lapisan yang didapatkan juga akan semakin besar. Setelah dilakukan perhitungan terhadap efisiensi katoda pada seluruh spesimen pada penelitian ini, didapatkan hasil pada Tabel 4.3



Tabel 4.2 Efisiensi Katoda pada Spesimen Hasil Elektroplating

Konsentrasi $\text{H}_2\text{CrO}_4(\text{g/liter})$	Konsentrasi Gelatin (g)	Konsentrasi Gelatin (%)	Efisiensi Katoda (%)
250	40,5	3	4.9451
250	81	6	4.3517
250	121,5	9	4.3517
300	40,5	3	5.7363
300	81	6	5.1429
300	121,5	9	4.5495
350	40,5	3	6.9231
350	81	6	5.1429
350	121,5	9	4.1539

Dari hasil perhitungan efisiensi katoda di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar efisiensi katoda yang terjadi maka akan semakin tebal deposit lapisan yang terbentuk dan semakin berat deposit lapisan tersebut. Efisiensi katoda merupakan indikator yang menunjukkan efisiensi proses elektroplating yang dilakukan. Grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi asam kromat dengan efisiensi katoda yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Konsentrasi Asam Kromat dengan Efisiensi Katoda pada Berbagai Konsentrasi Gelatin yang Berbeda

Efisiensi katoda terkecil didapatkan dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat sebesar 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 121,5 g/liter, efisiensi yang terjadi pada spesimen ini sebesar 4,1539%, dengan ketebalan deposit lapisan 4,2 μm dan berat deposit lapisan secara aktual sebesar 0.0302 gram. Sedangkan efisiensi katoda terbesar didapatkan dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat sebesar 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter, efisiensi yang terjadi pada spesimen ini sebesar 6,9231%, dengan ketebalan deposit lapisan 7 μm dan berat deposit lapisan secara aktual sebesar 0.0503 gram. Berdasarkan data yang didapatkan maka dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar yang didapatkan pada penelitian ini berasal dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat terbesar dengan campuran konsentrasi gelatin terkecil, sedangkan efisiensi terkecil



didapatkan dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat terbesar dengan campuran gelatin terbanyak.

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan efisiensi katoda ini, maka dapat diketahui bahwa gelatin dapat menurunkan efisiensi katoda pada proses elektroplating elektrolit gel. Hal ini juga terjadi pada saat proses elektroplating spesimen dengan elektrolit gel, arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh adaptor (kapasitas maksimal ± 10 A) tidak mencapai besar arus yang diinginkan. Hal ini terjadi pada dua spesimen dengan variabel yang berbeda, yaitu pada spesimen dengan konsentrasi asam kromat 300 g/liter yang dicampur dengan gelatin berkonsentrasi 121,5 g/liter dan pada spesimen dengan konsentrasi asam kromat 350 g/liter yang dicampur dengan gelatin berkonsentrasi 121,5 g/liter. Pada spesimen dengan konsentrasi asam kromat 300 g/liter dengan konsentrasi gelatin 121,5 g/liter, arus maksimal yang dapat dicapai pada awal proses elektroplating hanya sebesar $\pm 0,43$ A/cm², sedangkan arus yang diinginkan untuk proses elektroplating sebesar 0,45 A/cm². Selama proses elektroplating dilakukan, arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh adaptor terus menurun, sampai pada akhir proses elektroplating arus maksimal yang dapat dicapai adaptor adalah sebesar $\pm 0,155$ A/cm². Sedangkan pada spesimen dengan konsentrasi asam kromat 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin 121,5 g/liter, arus maksimal yang dapat dihasilkan adaptor pada awal proses elektroplating adalah sebesar $\pm 0,385$ A/cm². Arus maksimal ini juga terus mengalami penurunan selama proses elektroplating dilakukan, dan pada akhir proses elektroplating arus maksimal yang dihasilkan hanya sebesar $\pm 0,113$ A/cm².

4.1.3 Pengujian Ketebalan Deposit Lapisan Krom

Pengujian ketebalan deposit lapisan *coating* krom hasil elektroplating bertujuan untuk mengetahui seberapa tebal deposit krom yang terbentuk dari masing-masing konsentrasi asam kromat dan gelatin yang telah ditentukan. Pengujian ketebalan pada



penelitian ini dilakukan menggunakan alat uji ketebalan MiniTest 600 dengan mengacu pada ASTM B499. Hasil pengukuran ketebalan spesimen menggunakan MiniTest 600 ditunjukkan oleh Tabel 4.3

Pengukuran ketebalan lapisan krom pada spesimen hasil elektroplating ini dilakukan pada lima titik yang berbeda pada masing-masing spesimen, kemudian dari kelima hasil pengukuran tersebut diambil nilai rata-rata. Dari hasil uji ketebalan dapat dilihat pada konsentrasi asam kromat 250 g/liter, ketebalan deposit krom pada konsentrasi gelatin 40,5 g/liter sebesar 5 μm . Akan tetapi saat konsentrasi gelatin ditambah menjadi 81 g/liter, ketebalan deposit krom menurun menjadi 4,4 μm . Pada konsentrasi gelatin 121,5 g/liter, ketebalan deposit krom sama dengan ketebalan saat konsentrasi gelatin 81 g/liter.

Tabel 4.3 Hasil Uji Ketebalan Lapisan Coating

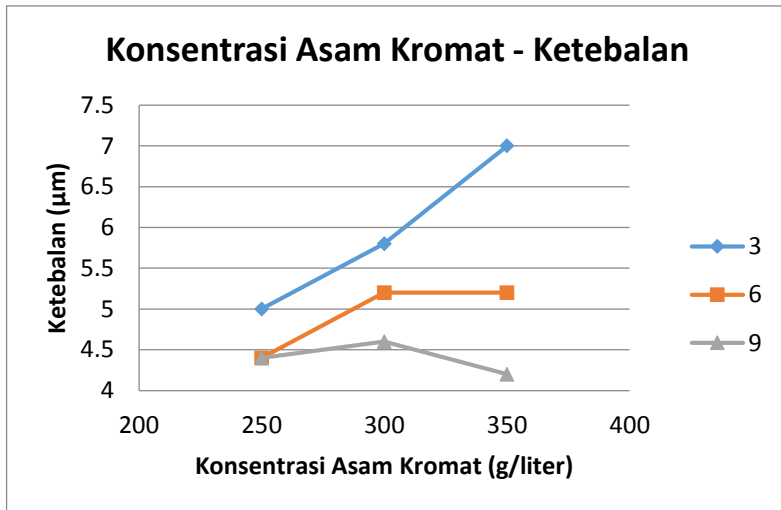
Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (%)	Rata-rata (μm)
250	40,5	3	5
	81	6	4,4
	121,5	9	4,4
300	40,5	3	5,8
	81	6	5,2
	121,6	9	4,6
350	40,5	3	7
	81	6	5,2
	121,5	9	4,2

Pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter, terlihat bahwa semakin besar konsentrasi gelatin yang ada dalam larutan elektrolit gel asam kromat, maka semakin kecil nilai ketebalan yang dihasilkan oleh deposit krom pada permukaan spesimen uji.



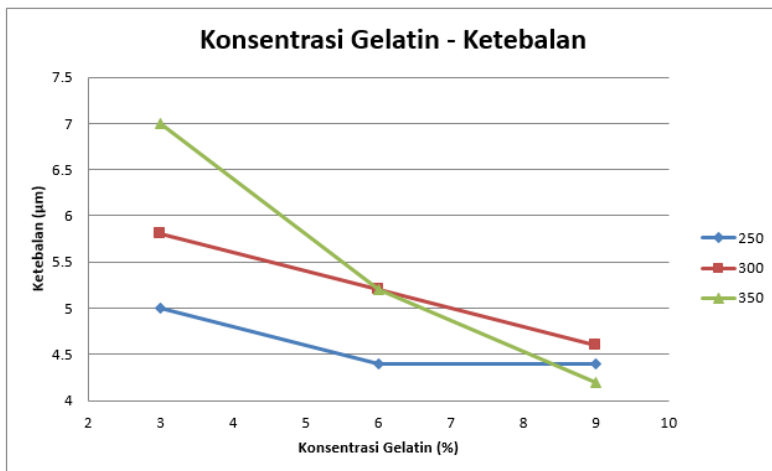
Ketebalan awal saat konsentrasi gelatin sebesar 40,5 g/liter sebesar 5,8 μm , kemudian ketebalan deposit krom menurun seiring dengan penambahan konsentrasi gelatin sebanyak 81 g/liter menjadi sebesar 5,2 μm . Pada konsentrasi gelatin 121,5 g/liter, kembali terjadi penurunan ketebalan deposit krom yang terbentuk pada permukaan spesimen uji, ketebalan deposit krom yang terbentuk sebesar 4,6 μm .

Pada konsentrasi asam kromat 350 g/liter, terbentuk ketebalan deposit lapisan krom yang paling tebal dan paling tipis. Lapisan deposit krom yang paling tebal terbentuk pada saat konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter, dengan nilai ketebalan 7 μm . Pada konsentrasi gelatin 81 g/liter, terjadi penurunan nilai ketebalan deposit krom, nilai ketebalan yang terbentuk pada kondisi ini adalah sebesar 5,2 μm . Pada konsentrasi gelatin 121,5 g/liter, kembali terjadi penurunan ketebalan deposit krom yang terbentuk, ketebalan deposit krom pada kondisi ini sebesar 4,2 μm , nilai ketebalan ini merupakan nilai ketebalan paling kecil yang terbentuk pada penelitian ini. Grafik yang menunjukkan hubungan asam kromat dan ketebalan deposit dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Konsentrasi Asam Kromat terhadap Ketebalan Deposit Lapisan dengan Konsentrasi Gelatin yang Berbeda

Hasil yang didapatkan dari pengujian ketebalan pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa, semakin besar konsentrasi gelatin sebagai *gelling agent* pada elektrolit gel asam kromat, akan semakin menurunkan nilai ketebalan lapisan deposit krom yang terbentuk pada permukaan benda yang dilapisi. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat ketebalan terkecil dan terbesar yang terbentuk pada spesimen, ketebalan terkecil dan terbesar terbentuk pada konsentrasi asam kromat yang sama, yaitu pada konsentrasi 350 g/liter, yang membedakan adalah pada konsentrasi gelatinnya. Ketebalan terkecil terbentuk pada konsentrasi gelatin sebanyak 121,5 g/liter, sedangkan konsentrasi terbesar terbentuk pada konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter. Semakin besar konsentrasi gelatin maka akan semakin menurunkan nilai ketebalan deposit lapisan. Grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi gelatin dan ketebalan ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Konsentrasi Gelatin terhadap Ketebalan Deposit Lapisan dengan Konsentrasi Asam Kromat yang Berbeda

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi asam kromat yang sama, nilai ketebalan akan terus mengalami penurunan dengan penambahan konsentrasi asam kromat pada elektrolit gel. Ketebalan maksimal yang dapat dicapai oleh elektrolit gel asam kromat terbentuk pada konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter pada semua variabel konsentrasi asam kromat yang berbeda.

4.1.4 Pengujian Kelekatan Lapisan *Coating*

Pengujian kelekatan lapisan krom bertujuan untuk mengetahui daya lekat yang dimiliki oleh deposit lapisan krom terhadap permukaan spesimen berupa baja. Uji kelekatan pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat uji kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester dengan mengacu pada ASTM D 4541. Nilai hasil uji kelekatan lapisan krom pada masing-masing spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.4



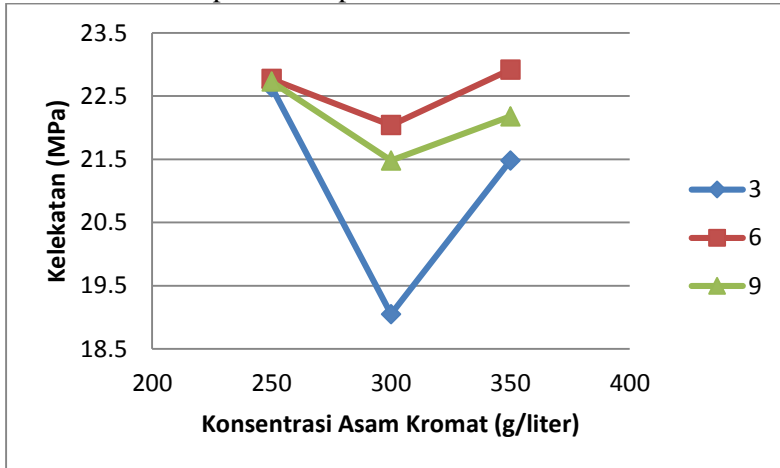
Tabel 4.4 Hasil Uji Kelekatan Lapisan Krom

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (%)	Nilai Kelekatan (MPa)
250	40,5	3	22,64
	81	6	22,77
	121,5	9	22,73
300	40,5	3	19,05
	81	6	22,04
	121,5	9	21,48
350	40,5	3	21,48
	81	6	22,92
	121,5	9	22,18

Hasil uji kelekatan pada Tabel 4.4 menunjukkan pola yang sama bila dilihat dari besar konsentrasi asam kromat yang berbeda dengan konsentrasi gelatin yang sama, yaitu mengalami penurunan nilai kelekatan pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter dan kembali mengalami peningkatan nilai kelekatan pada konsentrasi asam kromat 121,5 g/liter. Pada konsentrasi gelatin 40,5 g/liter, nilai kelekatan awal dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat 250 g/liter sebesar 22,64 MPa, kemudian mengalami penurunan nilai kelekatan pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter menjadi sebesar 19,05 MPa dan kembali mengalami peningkatan nilai kelekatan pada konsentrasi asam kromat sebesar 350 g/liter dengan nilai kelekatan sebesar 21,48 MPa. Hal yang sama juga terjadi pada konsentrasi gelatin 81 g/liter dan 121,5 g/liter dengan masing-masing konsentrasi asam kromat yang berbeda, sehingga terbentuk pola yang sama dari pengujian kelekatan ini dilihat dari konsentrasi gelatin yang sama dengan konsentrasi asam kromat yang berbeda dari masing-masing konsentrasi gelatin tersebut. Grafik yang



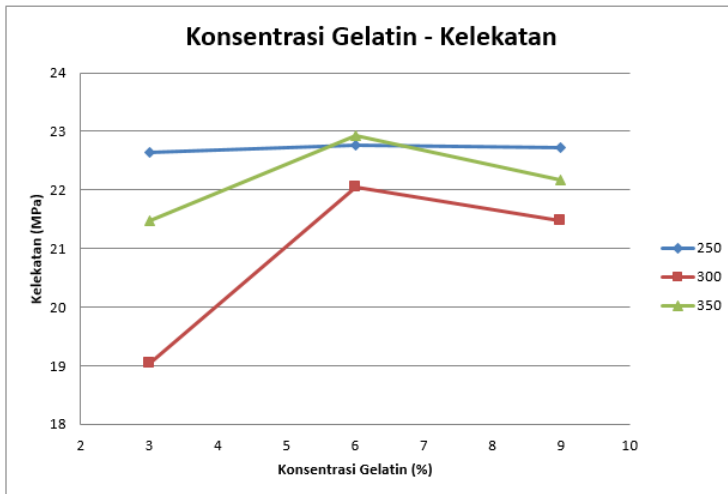
menunjukkan hubungan antara pengaruh asam kromat terhadap nilai kelekatan dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Konsentrasi Asam Kromat terhadap Nilai Kelekatan Spesimen dengan Konsentrasi Gelatin yang Berbeda

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa pada satu konsentrasi gelatin yang sama, nilai kelekatan akan mengalami penurunan dari nilai awalnya pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter dan kembali mengalami peningkatan nilai kelekatan pada konsentrasi asam kromat 350 g/liter. Pola ini terjadi pada seluruh spesimen. Sedangkan bila dilihat dari pengaruh konsentrasi gelatin pada kekuatan lekat, terbentuk pola yang berlawanan dengan yang terbentuk pada hubungan konsentrasi asam kromat dengan kelekatan.

Pada hubungan antara konsentrasi gelatin dengan nilai kelekatan, pola yang terbentuk adalah nilai kelekatan akan mengalami kenaikan pada nilai konsentrasi tengah dan kembali mengalami penurunan pada nilai konsentrasi tinggi. Grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi gelatin dengan nilai kelekatan dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Konsentrasi Gelatin terhadap Nilai Kelekatan Spesimen dengan Konsentrasi Asam Kromat yang Berbeda

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa pada satu konsentrasi asam kromat yang sama dengan masing-masing konsentrasi gelatin yang berbeda terbentuk suatu pola yang sama pada seluruh spesimen. Pola yang terbentuk adalah nilai kelekatan akan naik pada konsentrasi gelatin sebesar 81 g/liter dan akan kembali mengalami penurunan nilai kelekatan pada konsentrasi gelatin 121,5 g/liter. Hasil uji kelekatan yang baik akan membuat lapisan deposit pada permukaan spesimen mengelupas, hal ini menandakan bahwa penarikan yang dilakukan oleh alat penarik uji kelekatan mampu mengelupas deposit lapisan *coating* yang menempel pada permukaan spesimen. Pengelupasan pada deposit lapisan *coating* ini akan memberikan nilai kelekatan sebenarnya dari deposit lapisan tersebut. Hasil pengujian tarik yang baik seperti terlihat pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Hasil Pengujian Kelekatan yang Baik Menimbulkan Pengelupasan Deposit Lapisan pada Permukaan Spesimen

4.2 Pembahasan

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan mengenai elektrolit gel adalah penelitian yang dilakukan oleh Masayuki Itagaki pada tahun 2003 tentang komposisi pembuatan elektrolit gel tembaga sulfat (CuSO_4). Pada penelitian ini, beberapa faktor yang diteliti dalam proses pembuatan elektrolit gel tembaga sulfat adalah, konsentrasi CuSO_4 , pH larutan elektrolit, temperatur pelarutan gelatin, temperatur pendinginan, waktu pendinginan dan konsentrasi *gelling agent*. Pada penelitian ini digunakan variabel konsentrasi tembaga sulfat yang berbeda, jenis *gelling agent* yang berbeda dan juga pH larutan yang berbeda. Hasil maksimal yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah, konsentrasi CuSO_4 sebesar 1 mol/dm^3 atau kurang, pH sebesar 2 atau lebih, konsentrasi gelatin sebanyak 5% atau lebih, temperatur pelarutan gelatin sebesar 60°C , temperatur pendinginan larutan sebesar 0°C dan waktu pendinginan selama 30 menit.

Penelitian selanjutnya tentang elektrolit gel dilakukan oleh Diyatmika (2009) dengan menggunakan elektrolit gel dari tembaga sianida (CuCN) dengan tujuan untuk meneliti pengaruh densitas arus dan waktu kontak terhadap ketebalan lapisan tembaga dengan



menggunakan proses elektroplating. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa, semakin besar densitas arus yang diberikan, maka semakin tebal pula lapisan deposit Cu yang terbentuk dan semakin lama waktu kontak dalam proses elektroplating, maka semakin tebal pula lapisan deposit Cu.

Penelitian lain yang menggunakan elektrolit gel CuCN dengan tujuan untuk meneliti ketebalan lapisan tembaga juga dilakukan oleh Aldhi (2009), yang membedakan dari penelitian sebelumnya adalah, pada penelitian ini yang menjadi variabel bebasnya adalah konsentrasi CuCN dan gelatin pada elektrolit gel. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa, semakin besar konsentrasi CuCN dalam elektrolit gel CuCN, maka akan semakin tebal pula lapisan tembaga yang terbentuk pada spesimen uji. Sebaliknya dengan konsentrasi gelatin, semakin besar konsentrasi gelatin yang ada pada elektrolit gel CuCN, maka semakin kecil nilai ketebalan yang didapatkan pada permukaan spesimen uji.

Pada penelitian ini akan akan diteliti tentang pengaruh konsentrasi asam kromat (H_2CrO_4) dan gelatin dalam elektrolit gel terhadap ketebalan dan kualitas lapisan krom pada baja dengan metode elektroplating. Variabel konsentrasi asam kromat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 250 g/liter, 300 g/liter dan 350 g/liter. Sedangkan untuk gelatin digunakan variabel konsentrasi sebesar 3%, 6% dan 9%, dan pada proses elektroplating digunakan variabel tetap berupa densitas arus sebesar $0,45 \text{ A/cm}^2$ dan waktu elektroplating selama 15 menit.

4.2.1 Pengaruh Konsentrasi Asam Kromat (H_2CrO_4) terhadap Ketebalan dan Kualitas Lapisan Krom

Berdasarkan variabel bebas yang ada dan hasil yang telah didapatkan dari berbagai pengujian, maka dapat diketahui bahwa dengan semakin besarnya nilai konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel, maka semakin tebal pula deposit lapisan krom yang terbentuk pada permukaan spesimen uji. Nilai ketebalan deposit lapisan yang paling besar terjadi pada konsentrasi asam kromat



sebesar 350 g/liter dan konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter, dengan ketebalan lapisan sebesar 7 μm . Sedangkan nilai ketebalan deposit lapisan terkecil terjadi pada konsentrasi asam kromat 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 121,5 g/liter, dengan nilai ketebalan lapisan 4,2 μm .

Sedangkan untuk kekuatan lekatnya bila dilihat dari konsentrasi gelatin yang sama untuk setiap konsentrasi asam kromat yang divariabelkan, maka kekuatan lekatnya akan mengalami penurunan pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter dan akan kembali mengalami peningkatan kekuatan kelekatan pada konsentrasi asam kromat sebesar 350 g/liter. Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan dari uji kelekatan, nilai kelekatan paling besar yang didapatkan dari lapisan krom adalah 22,92 MPa, nilai ini didapatkan dari konsentrasi asam kromat 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 81 g/liter. Sedangkan untuk nilai kelekatan terkecil sebesar 19,05 MPa, nilai ini didapatkan dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat 300 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter.

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan untuk ketebalan lapisan, dapat disimpulkan bahwa dengan semakin bertambahnya konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel, maka akan menaikkan nilai ketebalan deposit pada permukaan spesimen. Peningkatan nilai deposit ketebalan ini merupakan hal yang dirasa wajar, karena seiring dengan bertambahnya asam kromat dalam elektrolit gel maka konsentrasi asam kromat akan semakin besar dan semakin banyak deposit yang akan terbentuk selama proses elektroplating. Pembentukan deposit krom akan semakin maksimal dengan semakin besarnya konsentrasi asam kromat yang terdapat dalam elektrolit gel, karena akan semakin banyak ion-ion yang terdepositasi pada permukaan spesimen.

Hasil pengujian kekuatan lekat deposit lapisan krom pada spesimen uji menunjukkan hasil yang cenderung mengalami penurunan nilai kelekatan pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter dan kembali mengalami peningkatan nilai kelekatan pada

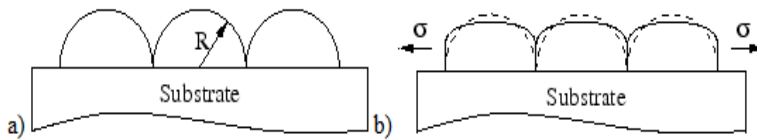


konsentrasi asam kromat 350 g/liter, hal ini dapat disebabkan oleh adanya kontaminan pada permukaan spesimen uji. Menurut Dennis (1993) sebab paling mungkin yang menyebabkan rendahnya nilai kelekatan adalah pembersihan yang kurang baik, sehingga masih terdapat pelumas, oksida dan material pengotor lain yang mungkin masih tertinggal atau masuk pada permukaan spesimen selama proses elektroplating. Adanya karbon atau karbida yang masih tersisa pada permukaan spesimen setelah proses etsa juga memungkinkan spesimen akan menghasilkan nilai kelekatan yang rendah.

Penyebab lain yang memungkinkan dari nilai kelekatan yang rendah pada deposit lapisan krom adalah adanya *intrinsic stress* pada deposit lapisan krom tersebut. Menurut Hutchinson (1996), *intrinsic stress* merupakan jenis tegangan yang muncul selama proses deposisi lapisan terjadi yang tidak berhubungan dengan ketidaksesuaian termal. Hutchinson juga menyebutkan bahwa sebagian besar mekanisme yang menyebabkan munculnya *intrinsic stress* adalah karena adanya perubahan volume yang terjadi selama proses deposisi sehingga menimbulkan tegangan karena adanya ketidakleluasaan dari deposit untuk bergerak, baik dikarenakan substratnya maupun dikarenakan lapisan lain. Menurut Flötotto (2013), perkembangan tegangan yang terjadi selama proses pertumbuhan lapisan disebabkan oleh, berkembangnya (mikro)struktur lapisan, morfologi permukaan dari tempat berkembangnya lapisan, *surface stress* dan *interface stress effects*, dan proses dinamik yang terjadi selama pertumbuhan lapisan.

Ceric (2006) menjelaskan bahwa *intrinsic stress* yang terjadi pada lapisan tipis secara umum dihasilkan oleh :

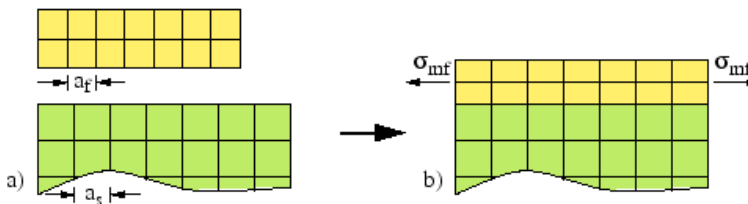
- Adanya peleburan batas butir



Gambar 4.10 Prinsip Peleburan, Struktur dari Butir Sebelum a) dan Setelah b) Peleburan

Pada tahap awal dari pertumbuhan lapisan, peleburan butir berukuran kecil akan menimbulkan tegangan tarik. Penutupan yang terjadi pada batas kosong antarkristal menyebabkan deformasi elastis. *Driving force* dari fenomena ini adalah kohesi.

- *Misfit Stresses*



Gambar 4.11 Perbedaan Ukuran kisi a) menyebabkan *misfit stress* pada lapisan b)

Tegangan ini terjadi saat kisi kristal dari lapisan tipis dan substrat dipaksa untuk dapat sesuai. Pengaruh dari tegangan tersebut menjadi sesuatu yang sangat berpengaruh pada fase awal deposisi lapisan tipis.

- Pengaturan ulang susunan atom

Metal yang di depositkan pada keadaan non-equilibrium akan mengatur ulang atom-atom penyusunnya untuk mencapai titik equilibrium. Umumnya pengaturan ulang susunan atom-atom ini akan menyebabkan *shrinkage* pada lapisan. Saat lapisan mengalami *shrinkage* dan lapisan melekat pada substrat, maka akan menimbulkan tegangan tarik.



- Pertumbuhan butir

Batas butir memiliki densitas yang lebih rendah dibanding kisi butir. Oleh karena itu, eliminasi batas butir menyebabkan densifikasi lapisan dan menimbulkan tegangan tarik.

- Tegangan termal

Tegangan ini disebabkan oleh adanya ketidaksesuaian termal antara lapisan logam dan substratnya. Tegangan ini berkembang selama proses pendinginan spesimen menuju temperatur kamar.

Pada jurnal lain disebutkan oleh Hollauer (2007), bahwa selain karena sebab-sebab diatas terdapat satu lagi penyebab munculnya *intrinsic stress*, yaitu adanya penambahan atom-atom yang berlebih ke dalam deposit lapisan *coating*. Diasumsikan bahwa selama proses pertumbuhan lapisan pada spesimen, terdapat dua cara penambahan atom-atom asing ini, pertama kebanyakan material *coating* ditambahkan pada bagian atas permukaan melalui mekanisme pertumbuhan kristal tradisional, di mana setiap lapisan atom didepositkan menjadi satu lapisan pokok. Kedua, adanya ketidaksesuaian antara atom-atom berlebih pada batas butir akan menciptakan tegangan kompresif pada lapisan *coating*.

Menurut berbagai sumber yang telah ada, maka dapat disimpulkan bahwa penurunan nilai kelekatan dari penambahan konsentrasi asam kromat yang terjadi pada konsentrasi 300 g/liter disebabkan oleh adanya *intrinsic stress* yang terjadi pada deposit lapisan krom, ditambah lagi dengan adanya karbon atau karbida yang masih tertinggal pada permukaan spesimen uji sebelum dilakukan elektroplating, akan semakin menurunkan nilai kelekatan deposit lapisan krom yang terbentuk setelah proses elektroplating.

4.2.2 Pengaruh Konsentrasi Gelatin terhadap Ketebalan dan Kualitas Lapisan Krom

Berdasarkan pada hasil pengujian spesimen yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa dengan semakin



banyaknya konsentrasi gelatin pada elektrolit gel asam kromat, maka akan membuat nilai ketebalan deposit lapisan krom pada spesimen semakin kecil. Hal ini dapat dibuktikan secara jelas pada seluruh spesimen dengan konsentrasi asam kromat yang tetap dan dengan konsentrasi gelatin yang bertambah, maka nilai ketebalan deposit lapisan krom pada spesimen semakin menurun.

Ketebalan spesimen dengan nilai terbesar dan terkecil terdapat pada konsentrasi asam kromat yang sama, yaitu pada konsentrasi asam kromat 350 g/liter, yang membedakan nilai ketebalan tersebut adalah konsentrasi gelatin yang diberikan pada elektrolit gel. Deposit lapisan dengan nilai tertinggi terbentuk pada spesimen dengan konsentrasi asam kromat 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin 40,5 g/liter, dengan nilai ketebalan sebesar 7 μm . Sedangkan spesimen dengan nilai deposit lapisan krom terkecil adalah spesimen dengan konsentrasi asam kromat 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin 121,5 g/liter, dengan nilai ketebalan 4,2 μm .

Sedangkan pengaruh konsentrasi gelatin terhadap nilai kelekatan spesimen, tidak berbeda jauh hasilnya dengan pengaruhnya pada nilai ketebalan deposit lapisan krom pada spesimen. Hasil yang didapatkan dari uji kelekatan spesimen menunjukkan bahwa nilai kelekatan deposit lapisan krom akan mengalami peningkatan pada saat konsentrasi gelatin sebanyak 81 g/liter dan akan kembali mengalami penurunan pada saat konsentrasi gelatin sebanyak 121,5 g/liter pada variabel besar konsentrasi asam kromat yang sama. Pada setiap konsentrasi asam kromat yang sama dengan variabel konsentrasi gelatin yang berbeda, didapatkan nilai kelekatan tertinggi pada spesimen dengan konsentrasi gelatin sebanyak 81 g/liter, dan nilai kelekatan terendah pada spesimen dengan konsentrasi gelatin sebanyak 121,5 g/liter.

Hasil pengujian menunjukkan nilai kelekatan tertinggi sebesar 22,92 MPa dihasilkan dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat 350 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 81 g/liter. Sedangkan nilai kelekatan terendah sebesar 19,05 MPa



dihasilkan dari spesimen dengan konsentrasi asam kromat 300 g/liter dengan konsentrasi gelatin sebanyak 121,5 g/liter.

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang didapat, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi gelatin pada elektrolit gel, maka akan semakin memperkecil nilai ketebalan deposit lapisan krom pada spesimen. Hal ini disebabkan oleh sifat gelatin yang berfungsi sebagai bahan tambahan pada proses elektroplating. Schrieber (2007) mengatakan bahwa gelatin digunakan sebagai bahan tambahan pada *galvanizing* dan *electroplating baths*, di mana fungsi gelatin adalah untuk meningkatkan kekilauan dan keseragaman dari *coating* logam yang dibuat, Florence (2011) juga mengatakan bahwa, peningkatan konsentrasi dari gelatin akan meningkatkan area kekilauan pada deposit lapisan *coating*. Selain fungsi yang telah disebutkan sebelumnya, masih terdapat fungsi lain dari gelatin yang berperan sebagai bahan tambahan pada proses elektroplating. Wei (2012) mengatakan bahwa, gelatin biasa dimanfaatkan sebagai *leveling agent* dan *grain refiner* pada proses elektrodeposisi. Dalam jurnalnya, Dini (1994) menjelaskan bahwa fungsi dari senyawa organik tertentu adalah untuk menciptakan fungsi *leveling* pada larutan *plating*. *Leveling agent* teradsorpsi lebih banyak pada puncak dari substrat dan menghambat deposisi.

Pengaruh gelatin pada penelitian ini yang berfungsi memberikan keseragaman deposit lapisan pada permukaan spesimen dan menghambat deposisi, terlihat pada penelitian ini dengan penambahan konsentrasi gelatin. Semakin besar nilai konsentrasi gelatin pada konsentrasi asam kromat yang sama, akan menyebabkan penurunan nilai ketebalan deposit lapisan pada spesimen. Penurunan nilai ketebalan ini dikarenakan pengaruh gelatin pada elektrolit gel semakin besar untuk meratakan deposit lapisan krom dan menghambat deposisi asam kromat pada permukaan spesimen. Pengukuran ketebalan pada lima titik spesimen menunjukkan selisih nilai antara ketebalan tertinggi dan terendah pada masing-masing titik akan semakin kecil dengan



penambahan gelatin. Hal ini menandakan bahwa dengan semakin bertambahnya konsentrasi gelatin pada elektrolit gel, maka keseragaman deposit lapisan *coating* pada permukaan spesimen akan semakin tinggi dan kekuatan penghambatan juga semakin besar. Hal inilah yang akan memperkecil nilai ketebalan deposit lapisan krom pada permukaan spesimen.

Bahan tambahan pada elektroplating akan meningkatkan kekilauan lapisan permukaan, keseragaman deposit lapisan permukaan, berfungsi sebagai *leveling agent* dan sebagai *grain refiner*. Gelatin berdasarkan perannya sebagai bahan tambahan pada elektrolit gel asam kromat, akan memberikan efek seperti yang telah disebutkan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini kekuatan lekat deposit lapisan *coating* hasil pengujian lekat memiliki pola kekuatan lekat yang sama pada seluruh konsentrasi asam kromat yang berbeda, yaitu memiliki kekuatan lekat yang cukup tinggi pada konsentrasi gelatin 40,5 g/liter, kemudian mengalami peningkatan nilai kekuatan lekat pada konsentrasi gelatin 81 g/liter dan kembali mengalami penurunan pada konsentrasi gelatin 121,5 g/liter. Nilai kekuatan lekat terkecil dihasilkan oleh spesimen dengan konsentrasi gelatin sebanyak 40,5 g/liter pada konsentrasi asam kromat 300 g/liter, dengan nilai kelekatan sebesar 19,05 MPa. Sedangkan nilai kelekatan terbesar dihasilkan dari spesimen dengan konsentrasi gelatin 81 g/liter pada konsentrasi asam kromat 350 g/liter, dengan kelekatan sebesar 22,92 MPa.

Berdasarkan hasil uji kelekatan yang didapatkan ini bila dihubungkan dengan konsentrasi gelatin pada elektrolit gel, maka dapat diketahui bahwa konsentrasi gelatin akan mempengaruhi kekuatan lekat deposit lapisan krom pada permukaan spesimen. Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa kekuatan lekat maksimal dicapai pada spesimen dengan konsentrasi gelatin 81 g/liter, sehingga dapat dikatakan bahwa kekuatan lekat maksimal dari deposit lapisan dicapai pada konsentrasi gelatin 81 g/liter dan akan semakin menurun dengan penambahan atau pengurangan



konsentrasi gelatin dibandingkan dengan konsentrasi tersebut. Hal ini dapat diketahui dari hasil uji kelekatan yang telah dilakukan, di mana pada konsentrasi gelatin 40,5 g/liter nilai kelekatanannya lebih kecil dari nilai kelekatan pada konsentrasi gelatin 81 g/liter, dan dengan penambahan konsentrasi gelatin sampai 121,5 g/liter, nilai kelekatan deposit lapisan justru kembali turun dibawah nilai kelekatan pada konsentrasi gelatin 81 g/liter.

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi maksimal dari gelatin pada pembuatan elektrolit gel untuk mendapatkan nilai kelekatan deposit lapisan yang tinggi. Pada penelitian ini didapatkan konsentrasi maksimal untuk mendapatkan nilai kelekatan tertinggi sebesar 81 g/liter, namun konsentrasi maksimal dari gelatin yang ditambahkan pada elektrolit gel ini perlu diteliti lagi agar didapatkan data yang lebih mendukung. Dini (1993) menyebutkan bahwa kekuatan lekat bergantung pada 3 hal, yaitu, ikatan yang terjadi pada *interfacial region*, tipe dari *interfacial region* dan mekanisme patahan yang menyebabkan kegagalan. Dalam kasus ini maka penyebab yang memungkinkan adalah terjadinya ikatan atom pada *interfacial region* yang lemah.

Penurunan nilai kelekatan deposit lapisan ini disebabkan oleh penambahan konsentrasi gelatin pada elektrolit gel asam kromat. Gelatin sebagai senyawa organik dalam elektrolit gel akan menghambat deposisi asam kromat pada permukaan spesimen. Penghambatan deposisi ini akan menyebabkan ikatan atom antar deposisi logam yang terbentuk akan menjadi lemah, karena ikatan atom tidak dapat terbentuk secara cepat, sehingga kekuatan lekat antara deposit lapisan dengan permukaan spesimen juga akan menjadi lemah.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel akan memberikan pengaruh terhadap ketebalan deposit lapisan, yaitu semakin besar konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel maka ketebalan dari deposit lapisan krom juga akan semakin tebal.
2. Penambahan konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel akan menurunkan nilai kelekatan deposit krom pada spesimen
3. Konsentrasi gelatin dalam elektrolit gel akan berpengaruh terhadap ketebalan deposit lapisan, yaitu dengan semakin besar konsentrasi gelatin dalam elektrolit gel maka ketebalan dari deposit lapisan krom akan semakin kecil.
4. Nilai kelekatan maksimal didapatkan dari spesimen dengan konsentrasi gelatin 81 g/liter (6%) dan penambahan atau pengurangan gelatin dari konsentrasi tersebut akan menurunkan nilai kelekatan deposit lapisan krom.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Hasil uji kelekatan :

- Konsentrasi asam kromat 250 g/liter + gelatin 3%



- Konsentrasi asam kromat 250 g/liter + gelatin 6%



- Konsentrasi asam kromat 250 g/liter + gelatin 9%



- Konsentrasi asam kromat 300 g/liter + gelatin 3%



- Konsentrasi asam kromat 300 g/liter + gelatin 6%



- Konsentrasi asam kromat 300 g/liter + gelatin 9%



- Konsentrasi asam kromat 350 g/liter + gelatin 3%



- Konsentrasi asam kromat 350 g/liter + gelatin 6%



- Konsentrasi asam kromat 350 g/liter + gelatin 9%



Tabel hasil pengukuran berat spesimen sebelum dan setelah proses elektroplating

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (%)	Berat Sebelum (gram)	Berat Setelah (gram)	Berat Lapisan (gram)
250	3	305.04	305.0759	0.0359
250	6	310.34	310.3716	0.0317
250	9	301.68	301.7116	0.0316
300	3	309.83	309.8717	0.0417
300	6	309.54	309.5774	0.0374
300	9	304.76	304.7931	0.0331
350	3	307.32	307.3703	0.0503
350	6	306.89	306.9274	0.0374
350	9	306.49	306.5202	0.0302

$$\text{Perhitungan efisiensi katoda : } \text{efisiensi} = \frac{\text{berat aktual}}{\text{berat teoritis}} \times 100\%$$

Tabel hasil perhitungan efisiensi katoda dari berat aktual dan teoritis

Konsentrasi H_2CrO_4 (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (%)	Berat Lapisan Aktual (gram)	Berat Lapisan Teoritis (gram)	Efisiensi katoda(%)
250	3	0.0359	0.726985492	4.9451
250	6	0.0317	0.726985492	4.3517
250	9	0.0316	0.726985492	4.3517
300	3	0.0417	0.726985492	5.7363
300	6	0.0374	0.726985492	5.1429
300	9	0.0331	0.726985492	4.5495
350	3	0.0503	0.726985492	6.9231
350	6	0.0374	0.726985492	5.1429
350	9	0.0302	0.726985492	4.1539

Tabel hasil pengukuran ketebalan spesimen pada lima titik dan ketebalan rata-ratanya

Konsentrasi H ₂ CrO ₄ (g/liter)	Konsentrasi Gelatin (%)	Ketebalan (μm)					Ketebalan Rata- rata (μm)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	
250	3	4	3	4	7	7	5
	6	3	5	5	5	4	4.4
	9	3	4	3	6	6	4.4
300	3	6	5	3	8	7	5.8
	6	5	5	3	6	7	5.2
	9	3	4	4	6	6	4.6
350	3	7	5	4	7	12	7
	6	5	3	6	6	6	5.2
	9	2	4	3	7	5	4.2

DAFTAR PUSTAKA

Aldhi, Mohamad. 2009. *Pengaruh Konsentrasi CuCN dan Gelatin Dalam Elektrolit Gel CuCN terhadap Ketebalan Lapisan Tembaga pada Elektroplating Baja JIS G 3141*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya

Brenner, Abner. 1963. *Electrodeposition of Alloys Principle and Practice*. New York : Academic Press Inc.

Campbell, F. C. 2008. *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. United States of America : ASM International

Ceric et al. 2006. Three-Dimensional Simulation of Intrinsic Stress Build-Up in Thin Films. Institute for Microelectronics, Wien, Austria for Paper of Simulation of Semiconductor Processes and Devices, 2006 International Conference

Cotell et al. 1994. *Volume 5 ASM Metal HandBook Surface Engineering*. United States of America : ASM International

Dennis and Such. 1993. *Nickel and Chromium Plating Third Edition*. Cambridge, England : Woodhead Publishing Limited

Dini, Jack W. 1994. *Electrodeposition The Material Science of Coatings and Substrates Reprint Edition*. Livermore, California : Noyes Publications

Diyatmika, I. M. W. 2009. *Pengaruh Densitas Arus dan Waktu Kontak Elektrolit Gel CuCN terhadap Ketebalan Lapisan Tembaga pada Elektroplating Baja JIS G 3141*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.

Djabourov et al. 1988. *Gelation of aqueous gelatin solution. I. Structural investigation*. Journal de Physique Laboratoire de Physique Thermique, Vauquelin, Paris, France.

Djokić, Stojan. 2014. *Modern Aspects of Electrochemistry 57 : Electrodeposition and Surface Finishing Fundamentals and Applications*. New York, United States of America : Springer Science+Business Media

Dubpernell, George. 1977. *Electrodeposition of Chromium from Chromic Acid Solutions*. Ferndale, Michigan : Pergamon Press, Inc.

Florence et al. 2011. *Studies on Electrodeposition of Copper from Methanesulphonic Acid Bath*. Department of Chemistry, Holy Cross College (Autonomous), Tamilnadu, India, Paper for International Journal of ChemTech Research CODEN (USA) : IJCRGG vol 3, no 3, 1318-1325

Flötotto, David. 2013. *Mechanisms of Intrinsic Stress Formation in Thin Film Systems*. Dissertation an der Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme (ehemals Max-Planck-Institut für Metallforschung) Institut für Materialwissenschaft der Universität Stuttgart

Gamburg and Zangari, 2011. *Theory and Practice of Metal Electrodeposition*. New York, United States of America : Springer Science+Business Media, LLC

Goldschmidt and Streitberger. 2007. *BASF Handbook on Basics of Coating Technology 2nd revised edition*. Münster, Germany : Vincentz Network

Guertin et al, 2005. *Chromium (VI) Handbook*. New York, United States of America : CRC Press

Hollauer, Christian. 2007. *Modelling of Thermal Oxidation and Stress Effects*. Dissertation an der Technischen

Universität Wien Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Huang and Lou. 2006. *Electroplating*. Journal of Department of Chemical Engineering, Lamar University, Beaumont, Texas, USA and Department of Chemical Engineering and Materials Science, Wayne State University, Detroit, Michigan, USA

Hutchinson, John W. 1996. *Stresses and Failure Modes in Thin Films and Multilayers*. Journal of Division of Engineering and Applied Sciences Harvard University, Cambridge, United States of America.

Itagaki et al. 2003. *Copper Plating Using Gel Electrolyte : I. Preparation of Electrolyte and Electrochemical Behavior of Copper Deposition*. Journal of Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science Vol 54 no. 1

Jovic' VD. 1995 *Electrochemical Deposition and Dissolution of Alloys and Metal Composites – Fundamental Aspects*. In: White RE, Bockris JO'M, Conway BE (eds) *Modern Aspects of Electrochemistry*. vol. 27. New York, United States of America : Plenum Press. 143–232

Kanani, Naser. 2005. *Basic Principles, Processes and Practice*. Berlin, Jerman : Elsevier Ltd.

Ledward, D.A. 1990. *Functional properties of gelatin*. In: *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, 5, G.O. Phillips, D.I. Weslock and P.A. Williams, eds. Oxford. IRL Press University Press. 145-156.

Ledward, D. A. 2000. *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge, England and Boca Raton, Florida, USA : Woodhead Publishing and CRC Press LLC

Mandich and Snyder. 2010. *Modern Electroplating Fifth Edition*. New Jersey, USA : John Wiley & Sons

Osborne, Ken. 2006. *Electroplating*. Journal of Metal Protection Ltd. Auckland, New Zealand

Paine, Peter J. 2011. *Chromium Plating : The Past, the present and the future*. Ottawa, Ontario, Canada : Journal of Environment Canada

Paunovich, et al. 2010. *Fundamental Consideration – Modern Electroplating Fifth Edition*. New Jersey, USA. John Wiley & Sons

Poppe, Jan. 1992. *Thickening and Gelling Agents for Food Second edition*. Leicester, England : Springer-Science+Business Media Dordrecht

Poyner, J.A. 1987. *Electroplating*. Hertfordshire, England : Argus Book

Ramachandran, G.N. 1967. *Treatise on Collagen*. New York. Academic Press.

Rose, P.I. 1987. *Gelatin*. In: *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, 2nd edition, 488-513

Schrieber and Gareis. 2007. *Gelatine Handbook Theory and Industrial Practice*. Weinheim, Jerman : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Setyo dan Malau. 2012. *Pengaruh Kuat Arus pada Pelapisan Nickel dan Nickel-Hard Chromium Plating terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Permukaan Baja AISI 410*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada untuk Makalah pada Prosiding SNST ke-3 Tahun 2012, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang

Siregar, F. L. 2010. *Pengaruh Keasaman (pH), Waktu terhadap Tebal Lapisan dan Kecerahan Permukaan pada*

Pelapisan Emas terhadap Tembaga. Tesis Program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan

Stevens, Paul. 2010. *Gelatine* in Imeson, Alan (eds) *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Oxford, United Kingdom : Wiley-Blackwell, A John Wiley & Sons, Ltd, Publication

Svenson, Eric. 2006. *DuraChrome Hard Chromium Plating*. Cocoa, Florida, USA : Journal of Plating Resources, Inc.

Tushinsky et al, 2002. *Coated Metal Structure and Properties of Metal-Coating Compositions*. New York, United States of America : Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Wei et al. 2012. *Effects of Thiourea and Gelatin on the Electrodeposition of Sn-Ag Solder Alloy*. Faculty of Engineering, University Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia for Paper of 4th Symposium on Quality Electronic Design. 978-1-14673-2688-9.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bontang, 1 Januari 1993, anak pertama dari dua bersaudara ini memulai pendidikannya di SDN 002 Bontang Selatan, SMP YPVDP dan SMA YPVDP. Setelah menamatkan pendidikan dari sekolah menengah atas pada tahun 2011, penulis mengikuti SNMPTN jalur undangan dan kemudian diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, FTI, ITS dengan NRP 2711 100 014.

Selama berkuliah penulis aktif dalam organisasi himpunan mahasiswa sebagai staf departemen riset dan teknologi periode kepengurusan 2012/2013, dan dilanjutkan sebagai wakil kepala departemen keilmiahan periode kepengurusan 2013/2014. Penulis melakukan kerja praktik di PT. Pindad Bandung, yang merupakan perusahaan produsen peralatan kereta api dan militer milik pemerintah, pada departemen cor dan tempa 2. Penulis mengambil studi tugas akhir pada bidang korosi dan pengendalian korosi dengan lebih spesifik pada teknologi pelapisan. Penulis memiliki email yang dapat dihubungi, yaitu kikinhermanto@gmail.com